

Resum

En aquest treball es proposa un model amb fabricació *single-site*, dirigit a fer front a la planificació de les capacitats de producció, de magatzematge i de transports de producte d'una empresa, en un sistema compost per una fàbrica, possibilitat de centres de distribució intermedis i distribució a diferents àrees comercials, tot contemplat des d'una perspectiva estratègica. El model està formulat mitjançant la programació lineal entera i mixta, amb una funció objectiu que maximitza el saldo de caixa al final de l'horitzó de planificació. Per tal d'implementar el model s'ha utilitzat el paquet ILOG-CPLEX on s'han realitzat varis experiments amb la finalitat de validar-lo.

És un model pensat en l'estudi de les capacitats de producció, magatzematge i de transport de producte, contemplades des d'un punt de vista econòmic-administratiu, on els principals actors són la fàbrica, els magatzems i les àrees comercials, tots ells units per una xarxa de transports que els comunica entre si. En el model s'ha tingut en compte els aspectes de negocis més rellevants, per tal de calcular el saldo de caixa. També s'ha intentat reproduir els processos de producció i logístics que es donen a l'actualitat amb la finalitat d'assimilar al màxim el model amb la realitat.

Aquest model esta dissenyat per ser aplicat en diferents sectors, especialment a la indústria manufacturera, ja que es tracta d'un model útil per a qualsevol tipus de producte. Al també contemplar la distribució de producte a diferents àrees comercials també podria ser útil per a empreses dedicades al transport de mercaderies.

Sumari

| | |
|---|-----------|
| RESUM | 1 |
| SUMARI | 3 |
| ÍNDEX DE FIGURES, GRÀFICS I TAULES | 5 |
| Índex de Figures | 5 |
| Índex de Gràfics | 5 |
| Índex de Taules | 5 |
| 1. PREFACI | 7 |
| 1.1. Origen del projecte | 7 |
| 1.2. Motivació | 7 |
| 1.3. Contingut del projecte..... | 8 |
| 2. INTRODUCCIÓ | 11 |
| 2.1. Objectius del projecte | 12 |
| 2.2. Abast del projecte..... | 13 |
| 2.2.1. Creació d'un model de PLEM per a la planificació de les capacitats:..... | 13 |
| 2.2.2. Implementació del model en un software: | 13 |
| 3. RECERCA BIBLIOGRÀFICA | 15 |
| 3.1. Planificació de la cadena de subministrament | 15 |
| 3.2. Planificació de capacitats | 17 |
| 3.3. Planificació distribució física..... | 20 |
| 3.4. Localització de centres..... | 20 |
| 3.5. Conclusions bibliogràfiques..... | 21 |
| 4. PLANTEJAMENT DEL MODEL: | 23 |
| 4.1. Plantejament | 23 |
| 4.2. Funcionament..... | 27 |
| 4.3. Abast del model..... | 27 |
| 4.4. Contorn del model | 28 |
| 4.5. Supòsits:..... | 30 |
| 4.6. Dades | 32 |
| 5. MODEL: | 39 |
| 5.1. La funció objectiu..... | 39 |
| 5.2. Restriccions | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3. Observacions | 44 |
| 6. IMPLEMENTACIÓ I CREACIÓ D'ESCENARIS | 50 |
| 6.1. Implementació del model en ILOG | 50 |
| 6.2. Creació de d'escenaris | 50 |
| 6.3. Procés seguit per a la provatura del model. | 52 |
| 6.4. Restriccions en l'assignació dels paràmetres | 53 |
| 7. RESOLUCIÓ, ANÀLISI DE FUNCIONAMENT I MOSTRA D'APLICACIONS | 57 |
| 7.1. Planificació de capacitats enfront diferents tipus de demanda | 60 |
| 7.2. Expansió i reducció de capacitats (compra-venta) | 66 |
| 7.3. Anàlisi de mercats..... | 67 |
| 7.4. Localització de centres de distribució | 70 |
| 7.5. Control de la flota (ocupació del transports) | 74 |
| 7.6. Observacions i conclusions | 75 |
| 8. IMPACTE AMBIENTAL | 77 |
| 8.1. Impacte ambiental del l'execució del projecte. | 77 |
| 8.2. Impacte ambiental del model..... | 77 |
| CONCLUSIONS | 79 |
| ESTUDI ECONÒMIC | 81 |
| AGRAÏMENTS | 83 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 85 |
| Referències bibliogràfiques | 85 |
| Bibliografia complementària | 87 |

Índex de Figures, Gràfics i Taules

Índex de Figures

| | |
|---|----|
| Figura 3.1. A complex real-life integrated P–D model..... | 17 |
| Figura 4.1. Esquema bàsic d'estudi | 23 |
| Figura 4.2. Recorregut del producte al llarg del sistema..... | 25 |
| Figura 4.3. Recorregut dels transports del sistema. | 25 |
| Figura 4.4. INPUT i OUTPUT del model..... | 27 |
| Figura 4.5. “IN & OUT” del sistema | 29 |
| Figura 6.1. Procediment realitzat per a la provatura del model. | 52 |
| Figura 7.1. Plantejament del estudi de patrons de demanda..... | 61 |
| Figura 7.2. Esquema del sistema estudiat en la localització de un CD..... | 70 |
| Figura 7.3. Resultat per a la localització de un CD..... | 74 |

Índex de Gràfics

| | |
|--|----|
| Gràfic 7.1. Patrons de demanda..... | 59 |
| Gràfic 7.2. Resultats d'executar el model amb el patró de demanda “A” | 62 |
| Gràfic 7.3. Evolució de les capacitats amb el patró de demanda “A” | 62 |
| Gràfic 7.4. Resultats d'executar el model amb el patró de demanda “B” | 63 |
| Gràfic 7.5. Evolució de les capacitats amb el patró de demanda “B” | 63 |
| Gràfic 7.6. Resultats d'executar el model amb el patró de demanda “C” | 64 |
| Gràfic 7.7. Evolució de les capacitats amb el patró de demanda “C” | 65 |
| Gràfic 7.8. Resultat del escenari d'expansió i reducció de capacitats | 67 |
| Gràfic 7.9. Evolució de les capacitats en l'escenari d'expansió i reducció de capacitats | 67 |
| Gràfic 7.10. Demanda Subministrada en l'anàlisi de mercats | 69 |
| Gràfic 7.11. Resultat d'executar el escenari per l'anàlisi de mercats..... | 69 |
| Gràfic 7.12. Demanda Subministrada per a la localització de un CD | 72 |
| Gràfic 7.13. Resultat d'executar el model per a la localització de un CD..... | 73 |
| Gràfic 7.14. Procedència del producte subministrat per a la localització de un CD | 73 |

Índex de Taules

| | |
|--|----|
| Taula 4.1. Dades del model..... | 37 |
| Taula 7.1. Llista completa dels paràmetres utilitzats | 58 |
| Taula 7.2. Paràmetres més rellevant en l'expansió i reducció d'equips..... | 66 |
| Taula 7.3. Paràmetres mes rellevants del estudi d'anàlisi de mercats..... | 68 |
| Taula 7.4. Paràmetres mes rellevants de la localització de centres | 71 |
| Taula 7.5. Ocupació dels transports als diversos escenaris provats | 75 |

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte

El principal origen del projecte radica en la importància en la presa de decisions en temps real per part de les empreses. Errors a la planificació de la producció, o a la logística de transports poden generar inventaris en excés o també, clients insatsfets que no poden ser servits per falta de previsió, amb el cost o pèrdues que això pot suposar per a l'empresa, tant en pèrdua de ventes com en pèrdua de clients.

Les empreses gasten molt temps buscant la manera de diferenciar els seus productes dels seus competidors. Quan l'administració reconeix que la logística i la cadena de subministres afecten a una part important dels costos d'una empresa i que el resultat de les decisions que es prenen, en relació amb els processos de la cadena de subministraments, afecta en diferents nivells el servei al client, es pot dir que s'està davant d'una eina útil per penetrar nous mercats, per incrementar quotes de mercat o per augmentar els beneficis. És a dir, una bona direcció de la cadena de subministraments pot no només reduir costos sinó inclús arribar a generar ventes.

Queda evident, doncs, que una bona planificació és bàsica per un bon funcionament de l'empresa. En aquest sentit el que es busca és la realització d'un model que tingui en compte la planificació de les capacitats tant de forma productiva, d'emmagatzematge, com de transport, en un sistema que recrea la cadena de subministrament a una empresa des de que es produeix fins que s'entrega. Aquesta idea apareix d'un model ja existent de planificació estratègica de capacitat al qual només es tenia present la capacitat productiva d'entre altres aspecte diferents. El fet d'estendre aquesta anàlisi a altres processos de la cadena de subministrament, pot esdevenir una eina d'utilitat per la planificació d'una empresa que disposi de producció i distribució a varies àrees comercials.

1.2. Motivació

Vist des d'un punt de vista general, és evident que el context de crisi obliga encara més a ajustar-se el cinturó i provoca que el marge d'error sigui molt petit. Un bon estudi és el causant de saber prendre les decisions correctes, i en conseqüència, l'elaboració de mecanismes que ajudin aquest aspecte és clau per a no equivocar-se. És per aquest motiu que aportar un nou model capaç d'ajustar els actiu disponibles a una empresa al seu ritme de feina pot considerar se de molta utilitat

El model esdevé innovador en plantejament de termes estratègics, ja no d'expansió de capacitat sinó, degut al context de recessió que es viu, de plantejament de reducció de capacitat o de substitució de capacitats en els diferents àmbits comentats d'estudi.

Si ho mirem de més a prop, és cert que tant la planificació de la productivitat com la planificació de xarxes de distribució és un tema ja molt estudiat. Deixant de banda l'anàlisi de capacitats esmentat, i per tal de completar el projecte, s'han introduït els retards en les entregues de productes, que tant pot dependre de la distància entre centres com del tipus de transport. El que es planteja és un control de la flota de transports, de forma que aquets no només facin el recorregut de distribució sinó que retornin de nou als centres d'emmagatzematge per efectuar una nova distribució. Aquesta decisió aconseguix que el model que s'ha realitzat s'apropi més a la realitat, i serveixi com a nou concepte de distribució amb retorn de transports. D'aquesta forma, s'aconsegueix que es puguin tindre més aspectes a valorar a la presa de decisions. No obstant, és una decisió que complica enormement la dimensió del model, fet que ha esdevingut un al·licient de l'estudi.

Per últim, comentar el gran interès a títol personal que sempre m'ha suposat tant les metodologies de producció en fàbriques, com l'optimització de les cadenes de subministrament de producte. El fet de saber conjuntar aquestes dues parts vitals a la cadena de subministraments de qualsevol empresa suposa un repte, però alhora, una gran motivació. Això se l'hi ha de sumar l'aprenentatge en l'utilització de programes relacionats amb aquest camp, com pot ser el IBM ILOG CPLEX, més l'ús de programes lligats de creació de dades per al correcte estudi del model.

1.3. Contingut del projecte

El projecte està estructurat en capítols de la següent forma (veure índex):

- **Resum.**
- **Recerca bibliogràfica**
- **Introducció al projecte.**

Presentació del projecte i breu entrada als diferents continguts que es tracten en ell. En aquest apartat es defineixen els objectius que es volen assolir. També s'acotarà el projecte definint que és el que entra dins de l'estudi i que en queda fora.

- **Realització d'un model de PLEM (programació lineal entera mixta) per a la planificació estratègica de la capacitat:**

En aquest apartat es presenta el model realitzat, el qual és el cas d'estudi d'aquest projecte. Primerament es defineix el model en el seu context i es descriuen els supòsits que haurà de complir, seguidament es desenvolupa el model al complet.

- **Implementació del model en un software de resolució, tipus IBM OPL-CPLEX:**

Explicació del procés seguit per implementar el model, seguit de la metodologia seguida per la creació d'exemples per provar si la implementació es correcta.

- **Resolució del model i mostra de diversos exemples.**

Mostra de la resolució del model un cop estudiats diferents escenaris possibles. D'aquesta forma s'aconsegueix demostrar que el model funciona correctament per al que està dissenyat.

- **Impacte ambiental**

Impacte que, ha produït o es preveu produeixi, l'elaboració d'aquest projecte al medi ambient

- **Conclusions.**

2. Introducció

En els últims anys, la competitivitat entre les empreses ha seguit augmentant, i ja no solament es tracta de tenir un bon producte, a un bon preu i amb un bon servei. El client s'ha tornat cada vegada més exigent, és conscient que les seves necessitats van variant i necessita aquell producte i servei que evolucioni ajustant-se a les seves necessitats. Moltes de les empreses que tenen més èxit a l'actualitat són les que atenen tot allò que sol·liciten els seus compradors, de manera que a l'analitzar la seva cadena de subministrament, inverteixen en aquells punts on es creu que es satisfà les necessitats del consumidor, ja que la seva prioritat és donar resposta a les seves necessitats presents i futures dels productes i serveis que han de rebre. Aquesta orientació és la que permet, en gran part, continuar amb el creixement i augmentar els ingressos de l'empresa. Això comporta recordar que la visió de la cadena de subministrament s'estengui a totes les organitzacions o empreses que formen part d'aquesta cadena.

És per això que en l'última dècada el maneig de la cadena de subministrament ha sorgit com un dels conceptes més importants a les gestions empresarials, fet que augmenta exponencialment amb l'evolució que han experimentat les tecnologies d'informació, permetent dia a dia un ús més avançat i profund de les dades relacionades amb la cadena de subministrament, la qual cosa permet realitzar models que busquin optimitzar les diferents àrees que l'inclouen.

Analitzant els elements que componen la cadena de subministrament, cal fer especial menció a la importància que comporta el fet de realitzar una bona planificació de les diferents capacitats dels processos que hi actuen, ja que aquets són els que marquen el “tempo” de funcionament de la cadena. Si bé importa el “com” es fan les coses, també és molt important el quan, és a dir l'agilitat o rapidesa amb la que es fan, intentant mantindre la qualitat del producte. Moltes empreses, en aquesta època de crisi intenten abaratir els preus de venda perjudicant la matèria prima del producte mitjançant la utilització de matèries primeres més econòmiques per a la seva fabricació. Productes que, en ocasions, són de mala o nul·la qualitat. Aquesta estratègia, ha quedat demostrat, que generalment és deficitària, ja que produeix un distanciament dels client amb el producte. D'aquí la idea que una bona planificació estratègica de les capacitats a un sistema de subministrament pot ajudar a reduir costos i a oferir una bona estructura de servei al client sense perdre qualitat al producte i per això, la importància de les capacitats.

La capacitat és la característica limitant d'un procés que normalment es mesura en unitats de producte que realitzen el procés per unitats de temps. Dins de la cadena de subministrament, per a una correcta avaluació de la capacitat, s'ha de considerar principalment, els processos de producció, càrrega i descàrrega, emmagatzematge,

desallotjament i transport d'origen i destinació de la càrrega, tot i que al present projecte sols s'estudiarà la producció, l'emmagatzematge i el transport . Una instal·lació hauria d'estar en equilibri amb tota la logística de la cadena de subministrament per l'òptim aprofitament dels recursos, ja que en cas contrari, la capacitat estarà determinada per un procés més ineficient. En altres paraules, aquella capacitat que sigui limitant serà la condicionant de que el sistema vagi a aquell ritme, amb el sobre-cost que això produeix. És per això que es fa necessari comptar amb la infraestructura i l'equipament adequat a cadascuna de les operacions. El pla de capacitat resultant ha de ser econòmicament viable per a que les inversions puguin ser amortitzables. En formular els seus plans estratègics, l'empresa ha d'avaluar les seves opcions des de dues perspectives importants. En primer lloc, ha de saber gestionar com planificar les capacitats dels diferents processos del sistema, tenint present que unes depenen de les altres. En segon lloc, l'empresa ha d'avaluar l'impacte sobre els seus beneficis i el seu flux d'efectiu de les decisions de capacitat.

La capacitat de planificació estratègica és extremadament important per a cada empresa (Luss, 1982; Olhager et al, 2001); ja que requereix recursos substancials de capital i afecta més d'un llarg període de temps. La manca de capacitat comporta el risc de perdre clients i vendes i l'excés de capacitats condueix a una baixa utilització d'equips i crea un perfil de major cost. Com a contrapartida, algunes vegades les decisions preses són irreversibles a causa de la dificultat per revertir la inversió de capital o perquè els actius tenen una revenda insignificant o valor de rebuig (Berman et al., 1994). Aquest projecte tracta de la capacitat de planificació des d'una perspectiva estratègica i considera la possibilitat d'ampliar o reduir la capacitat a llarg termini (compra o venda d'equip en certs períodes) i per reemplaçar equips. Les capacitats tractades són la productiva, la de emmagatzematge i la de distribució, planificant aquesta última com un sistema logístic mitjançant una flota de transports els quals efectuen tant viatges d'anada com de retorn.

2.1. Objectius del projecte

Partint de la base d'un model de programació matemàtica de planificació estratègica de la capacitat productiva, s'ha realitzat aquest projecte amb la finalitat d'obtenir un nou model de programació lineal entera-mixta (PLEM) que sigui capaç d'optimitzar la cadena de subministrament, en un entorn amb fabricació single-site i distribució a varies àrees comercials.

La creació de l'esmentat model inclou la provatura de diferents escenaris possibles per tal de verificar el correcte funcionament d'aquest. Això s'aconsegueix mitjançant l'implementació del model en un programa de PLEM. com el IBM ILOG CPLEX.

Per altra banda, si s'atén els objectius de la creació del projecte, és pot dir que el model es crea per tal d'oferir una eina a diferents tipus d'empreses (manufactureres, de distribució,...), per tal que puguin realitzar una bona planificació empresarial en diferents sectors:

- Planificació en capacitat productiva
- Planificació en capacitat de emmagatzematge
- Planificació de la dimensió de la flota de transports
- Possibilitat d'obrir nous centres de distribució
- Possibilitat d'entrar en nous mercats.

2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte està format per dos grans punts seguidament descrits.

2.2.1. Creació d'un model de PLEM per a la planificació de les capacitats:

Consisteix en la creació d'un model aprofitant la base d'un model de planificació estratègica ja existent, amb el conseqüent coneixement de l'organització Industrial i de les cadenes d'aprovisionaments. Com el model pretén optimitzar des d'un punt de vista econòmic-administratiu, s'han de tindre en compte una mínima base dels conceptes econòmics de la empresa, així com de conceptes logístics o de distribució.

El procés que es modelitza en el projecte abasta en grans trets: la compra i venda de capacitats de producció per a la manufactura del producte; la compra i venda de capacitats d'emmagatzematge en els diferents centres que es disposen; la compra i venda de capacitat de transport; l'elaboració de una xarxa de transports entre centres i àrees comercials amb possibilitat de circulació en els dos sentits; i els costos fixos i variables que resultin de la possessió d'aquestes capacitats i transports. Per tant, el model analitza producció, emmagatzematge i transport de producte. Més endavant, en els supòsits del model, s'acabaran de concretar més detalladament el que es s'ha tingut en compte i el que no, dins el tram estudiat de la cadena de subministraments

En cap cas es tindran en compte la necessitat de matèria prima per a la fabricació del producte, ni com aquesta arriba fins la fàbrica. Per altra banda, el programa està dissenyat per cobrir una demanda coneguda a un preu conegut. L'estudi de la demanda que s'ha de cobrir o del preu al que s'ha de vendre el producte queden fora de l'abast del projecte.

2.2.2. Implementació del model en un software:

Per poder avaluar el bon funcionament del model, aquest s'ha implementat en un software per poder-ne fer un estudi de resultats. En aquest cas, s'ha implementat el model en el IBM ILOG CPLEX (d'ara en endavant ILOG). No obstant no ha estat l'únic software utilitzat al

llarg del projecte, ja que per realitzar aquest estudi que verifica el correcte funcionament del model, és necessària la creació d'un programa que sigui capaç de crear possibles exemples que permetin provar-lo. Aquest programa s'ha implementat en el software de programació Java, ECLIPSE. Per tant, s'han desenvolupat dos petits suports, un que implementa el model realitzat, i l'altre com a suport per a la creació de exemples que el permetin provar.

La base essencial del desenvolupament realitzat en aquets dos softwares ha estat facilitada pel tutor del projecte, però ha sigut imprescindible conèixer els dos programes tant per poder treballar amb ells i saber el que s'està fent en cada moment, com per poder introduir petites modificacions.

Comentar que no s'ha creat cap software o programa específic, sinó que s'ha utilitzat els diferents softwares existents comentats per poder per una banda implementar el model (ILOG) i per l'altre crear possibles escenaris de prova (ECLIPSE).

3. Recerca bibliogràfica

La recerca bibliogràfica d'aquest projecte es planteja des de diferents punts que fan referència als distints àmbits d'estudi els quals s'han intentat introduir al model. Dit d'altra forma, el present model està compost per varies etapes o processos de la cadena de subministrament, que al llarg de la història han estat cas d'estudi generalment de forma separada, i en alguns casos, com a conjunt. Aspectes com la planificació de la producció, la localització de centres o la distribució física, són processos que es venen modelant des de ja fa anys.

És per aquest motiu que s'ha dividit la recerca bibliogràfica en varies partides que representen casos d'estudi anteriorment tractats. En aquest sentit, es donarà especial rellevància a la recerca de contingut referent a l'anàlisi de capacitats, degut a que correspon a l'aspecte causant d'aquest projecte. Així doncs, les partides que componen la recerca bibliogràfica són les següents:

- Planificació de la cadena de subministrament
- Planificació de capacitats (rellevància especial)
- Localització de centres
- Distribució física

Mitjançant aquesta recerca es considera que es disposa de la suficient informació per a la realització del model. Seguint l'esquema mostrat, primerament, es realitza una breu presentació de la cadena de subministrament, avaluada com a conjunt, per remarcar la importància de l'assemblatge de tots els processos que la componen, aspecte bàsic en la definició del model. En segon lloc es realitza l'estudi de planificació estratègica de capacitats, el qual esdevé el nucli central d'estudi del projecte. Finalment s'ha vist oportú fer un petit incís en la recerca d'informació referent a la localització de centres i a la distribució de producte (tema en el que també s'ha intentat innovar al projecte).

3.1. Planificació de la cadena de subministrament

La gestió de la cadena de subministraments busca la integració de múltiples organitzacions o processos i té una perspectiva multifuncional. Per exemple, el Massachusetts Institute of Technology (MIT) defineix el camp de la gestió de la cadena de subministraments així:

"La Gestió Integrada de la Cadena de Subministrament (GICS) és una forma d'abordar orientada i integradament processos de compres i adquisicions, producció i lliurament de béns i serveis als clients. La GICS té un ampli abast que inclou sub-proveïdors, proveïdors,

operacions internes, minoristes, clients al detall i usuari final. La GICS cobreix la gestió del flux de materials, informació i diners "

Com es pot analitzar de la definició anterior, la gestió de la cadena de subministrament controla el flux de materials, informació i diners a través dels diferents processos que la componen, per assolir un benefici econòmic establert mentre es compleixen els nivells de servei al client desitjats.

En aquest projecte es tracta únicament el procés de la cadena de subministrament que transcorre des de la producció fins l'entrega de producte. En aquest sentit s'ha reduït la recollida d'informació als models d'optimització d'aquest espai.

A l'entorn de negocis que preval actualment, amb la variabilitat de les condicions del mercat i de les expectatives del client, cal tindre en compte aquestes incerteses i riscos dins de la planificació, a més de les incerteses pròpies de les activitats internes de l'organització. Aquests aspectes són part de la dinàmica de la cadena de subministraments en la qual es participa i la competitivitat de l'empresa està molt vinculada amb les estratègies i accions que es prenguin davant d'aquesta dinàmica. Per poder prendre les decisions adequades, és necessari capturar la dinàmica de la cadena de subministrament, modelant cadascun dels seus elements i la interacció entre ells.

La gestió de la cadena de subministraments, tal i com és, envolta decisions que involucren molts processos i organitzacions, pel que és summament important la construcció de models de suport a la presa de decisions amb un enfocament sistèmic de la empresa i el seu entorn.

Segons Fahimia et al (2013), el disseny de models per optimitzar la planificació de la producció i distribució ha aixecat un gran interès entre professionals i investigadors en les últimes dues dècades. Tant és així que són molts els investigadors que han desenvolupat models d'optimització P-D (production–distribution planning models).

Per a un problema de planificació P-D, el tamany de recerca pot arribar a ser extremadament gran. De fet, a un escenari de la vida real centenars de tipus de productes poden ser fabricats a un conjunt de plantes de fabricació, productes que posteriorment són distribuïts a diversos usuaris passant prèviament per magatzems de distribució. Això provoca que en aquest àmbit la recerca del pla òptim de planificació pot contenir milers de opcions discretes de planificació. És per això que la creació d'eines que ajudin a la presa de decisions mitjançant models d'optimització és vital i sempre ha constituït un repte en investigacions anteriors.

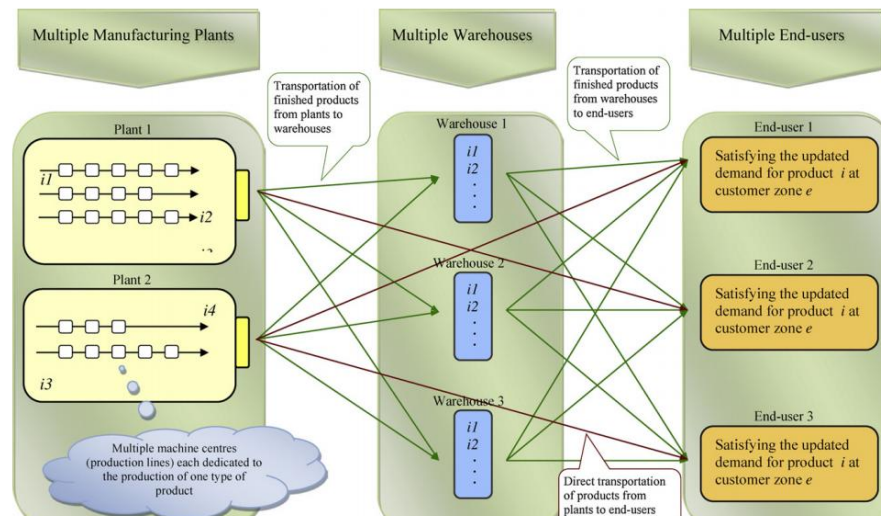


Figura 3.1. A complex real-life integrated P–D model

(Font: Fahimia et al (2013), *A review and critique on integrated production–distribution planning models*. Journal of Manufacturing Systems).

Al present projecte es crea un model que optimitza la planificació de les capacitats dels processos que actuen en la cadena de subministrament, tenint en compte que s'interpreta la creació d'una nova empresa, i per tant, totes les capacitats han de ser adquirides abans per poder recrear el sistema.

Molts dels estudis realitzats amb anterioritat no sols plantegen un nou model d'optimització sinó que, en molts casos, argumenten diferents formes de resoldre'ls. En aquest aspecte, i fent un breu incís en l'evolució de l'estudi de la cadena de subministrament, es troba Bose i Pekny (2000), que modelen el problema de la planificació de la cadena com un monolític i ho resolen per a tot l'horitzó de planificació. No obstant, arran de les competències del mercat, les indústries no podien complir amb les seves metes, donada la manera com les companyies portaven els seus processos de logística, producció i distribució en una forma no integrada. Després Barbosa-Póvoa et al (2005), integren diferents activitats de la cadena de subministrament, el que permet la reducció del nombre d'esdeveniments en el model global, resultant una formulació flexible però compacta. També proposen un model multi-producte per al disseny de la cadena global de subministraments amb el flux invertit, on es consideren dos nivells de decisió, l'estratègic i el tàctic

3.2. Planificació de capacitats

La majoria de documentació trobada d'aquest tema quasi sempre descriu l'expansió de capacitats referents a la planificació productiva, el qual ha estat un tema important d'investigació en gestió d'operacions. Són moltes les metodologies utilitzades per resoldre

aquest tipus de problemes i l'ús de models de programació matemàtica, tant siguin deterministes com estocàstic, ha estat una àrea de recerca activa. La informació pel que fa a l'anàlisi de reducció de capacitat o a la planificació estratègica de les capacitats d'emmagatzematge i de transport és molt escassa per no dir nul·la. En qualsevol cas era un aspecte que ja es sabia i d'aquí l'execució d'aquest projecte. Al final de l'apartat es comentarà en que s'innova respecte a la documentació trobada

La inversió en expansió de capacitat segueix sent una de les decisions més importants per a l'organització de la producció amb instal·lacions de producció globals. A finals de 1970, Wheelwright (1978) va proposar la idea que la capacitat total era una de les cinc àrees de decisió estratègica de fabricació i per tant, la clau a la gestió estratègica d'operacions d'una empresa.

Després, a principis de 1980, la literatura d'expansió de la capacitat va evolucionar per incloure diverses qüestions i considerar múltiples instal·lacions al procés de presa de decisions. Luss (1982) assenyala que l'objectiu típic era reduir al mínim els costos reduïts associats amb el procés d'expansió, i proposa una definició que consisteix en la determinació de les dimensions de les instal·lacions que s'han d'afegir així com els temps en que s'haurà de fer dita instal·lació i localització. Reeves et al. (1988) considera l'expansió de la capacitat d'una empresa industrial, que produeix diversos productes en diverses regions econòmiques en un horitzó de temps múltiples, on defineix que la demanda del mercat, els costos de capital, costos de mà d'obra i els costos de transport, es consumeixen internament per altres plantes a la xarxa de producció. L'objectiu de Reeves et al. era el de maximitzar el retorn sobre el capital invertit.

Saltant ja a la dècada dels 90, Li i Tirupati (1994) analitzen un model dinàmic d'inversió multi-producte per fer la selecció de tecnologia i les decisions d'expansió a un horitzó de planificació finita en una empresa amb un únic centre de producció. L'objectiu és determinar el programa de cost mínim per a les addicions de capacitat per satisfer les demandes de productes, que són coneguts en l'horitzó de planificació. Ells formulen el problema com un programa matemàtic i desenvolupen un enfocament en dues fases utilitzant l'heurística per resoldre-ho. Seguidament, Rajagopalan (1998) va unificar les literatures referents al reemplaçament d'equips i la d'expansió de capacitats, ja que justificava que així com la primera ignorava economies d'escala, la segona feia cas omís a la substitució d'equips.

Dins el segle XXI el contingut d'informació respecte a la literatura buscada augmenta considerablement. Es destaquen treballs com el de Syam (2000) que analitza l'expansió de capacitat als mercats internacionals i considera els costos de producció (mà d'obra i fabricació), els costos de logística, i la capacitat d'assistir a les diferents plantes. A més, explora el cost-benefici-risc per a diversos escenaris d'expansió i sosté que tot i que els

costos són significatius, els gerents han de sospesar-los contra els possibles beneficis polítics i factors de risc en la presa de decisions d'expansió.

Rajagopalan i Swaminathan (2001) argumenten que les polítiques de gestió d'inventari tenen efectes considerables en les decisions d'expansió de capacitat, especialment en els casos en què la demanda està creixent ràpidament i l'empresa necessita periòdicament afegir capacitat productiva. Ells desenvolupen un model de programació matemàtica com un enfocament de solució eficaç per determinar l'expansió òptima de la capacitat, la producció i l'inventari en el temps.

Hsu (2002) tracta un problema d'expansió de la capacitat que permet un augment de la demanda que es compensa mitjançant l'ús de la capacitat temporal, com l'arrendament o la subcontractació. Es tracta d'un model més apte per motius especulatius com pot ser el d'una empresa que vulgui retardar l'adquisició de certa tecnologia ja que s'espera que sigui més barata en un futur pròxim.

Gaimon i Burgess (2003) descriuen la disjuntiva principal en l'expansió de la capacitat com: "el cost total sobre totes les expansions es redueix a través d'un petit nombre d'ampliacions de grans dimensions (economies d'escala), mentre que els costos associats a desviar-se de la demanda es redueixen a través d'un gran nombre d'expansions de mida petita ". Estudien la relació entre el temps d'espera per a l'expansió de la capacitat i la mida de l'expansió i també investiguen els efectes de l'aprenentatge des del disseny previ i l'aplicació d'aquest temps d'espera. Ells mostren que una reducció del temps d'espera genera beneficis, que poden superar els estalvis de costos de les economies d'escala.

Ryan (2004) posa l'accent en el risc d'escassetat de capacitat durant el temps d'espera per afegir capacitat en entorns amb incertesa de la demanda i de l'obligació de proporcionar un nivell especificat del servei. Ella demostra que és necessària una expansió, fins i tot en presència d'un excés de capacitat per compensar la creixent demanda. A més, Ryan (2004) desenvolupa el model utilitzant l'opció concepte de preu econòmic, que investigadors han demostrat que proporciona una avaluació més precisa dels projectes que tracten l'inversió amb les interaccions estratègiques (Miller i Park, 2002).

Mes recentment es troba el treball de Chakravarty (2005) que proposa un model per optimitzar les decisions d'inversió de la planta per a l'expansió de la capacitat alhora que garanteix que les despeses generals d'inversió de plantes s'absorbeixin de manera òptima pels productes manufacturats a partir d'aquesta planta. Per últim destacar Melo et al. (2005) que proposen un marc de modelatge matemàtic per abordar molts dels aspectes pràctics del disseny de la xarxa de producció al mateix temps. Aquests inclouen un horitzó dinàmic de planificació, distribució, subministrament de materials, inventaris, configuracions d'instal·lacions, disponibilitat de capital per a les inversions i limitacions d'emmagatzematge.

Aborden qüestions estratègiques de la reubicació de la capacitat i addicions de capacitat en instal·lacions, enllaçant-ho amb el tema de l'ampliació de la capacitat per a l'estratègia de la cadena de subministrament global d'una empresa.

3.3. Planificació distribució física

L'estudi de la distribució física de producte és important de cara a la planificació de la quantitat i del moviment de la flota de transports de la que es disposa. Segons Ferrer, Coves i de los Santos (2004), el principal estudi de la distribució física en una empresa té com objectiu optimitzar el flux de productes des dels centres de producció fins el client final. Més en concret, la programació de la distribució s'encarrega d'optimitzar l'assignació de les tasques a realitzar (entrega de la mercaderia) als recursos disponibles (vehicles disponibles).

Als últims anys, la gran part dels estudis desenvolupats a l'àmbit de la distribució física d'una empresa es concentra en el disseny de l'estructura general de la distribució ampliant-ho, en molts casos, a altres processos logístics de la empresa. Fou Laporte (1992) qui va aplicar la programació matemàtica i va resumir els principals algoritmes exactes i heurístics desenvolupats en problemes de vehicles. Més endavant Baita et al (1998) presenten una classificació dels problemes de rutes considerant també els costos d'emmagatzematge. Hal et al (2001) presenten l'estat de l'art de les eines existents i dels paquets de programes disponibles per a l'estudi global de la cadena logística i apunten les seves limitacions. En aquesta mateixa línia hi ha els treballs de Jayramman i Pirkul (2001). Les limitacions dels estudis globals es fan més evidents en el cas d'empreses on les característiques fan necessària una programació a un horitzó a curt termini i que poden variar considerablement d'altres programacions anteriors i futures.

3.4. Localització de centres

Els models de localització i assignació de recursos en xarxes de transport són un problema que ha començat a ser plantejat recentment. Tot i que a finals dels 60 Goldman (1969) ja començava a estudiar el problema de localització de centres de distribució en una xarxa, no seria fins a mitjans de la dècada dels 80 del segle passat quan es va donar per començada formalment la recerca d'aquesta matèria amb els treballs de O'Kelly (1986, 1987). A partir d'aquests models, sorgeixen una sèrie d'estudis amb certs denominadors comuns, però cada un aportant una variant més en aquest assumpte.

Al llarg de la dècada dels 90 es va perfeccionar la manera de formular la programació de la distribució i es van anar afegint paulatinament, noves variants a la formulació original de O'Kelly (1987). El principal referent d'aquesta nova onada d'estudis va ser Campbell (1994)

el qual enlloc de buscar l'optimització econòmica del model minimitzant els costos derivats del transport, va fer un plantejament minimax basat en la minimització dels costos màxims d'un procés determinat.

A partir d'aquí l'evolució d'aquets estudis va desembocar en diferents vies d'optimització. Els models bàsics més anomenats a la literatura de localització són citats per Current, (2002.), on l'objectiu principal de tots els models és localitzar noves instal·lacions per optimitzar algun objectiu particular. Dins del que ens interessa, més recentment, es troba Shimizu i Wada (2004, 2005), el quals ja van considerar un problema de centres de distribució, dins del maneig de la cadena de subministrament, on es desenvolupava un mètode que optimitzava el cost total de transport pel que fa a la ubicació del centre de distribució i la ruta existent entre fàbrica i àrea comercial passant a través del centre de distribució.

3.5. Conclusions bibliogràfiques

En aquest treball el que es proposa és un model de temps discret i amb horitzó finit, que analitza l'optimització de les possibles expansions, substitucions i reduccions que puguin afectar la capacitat productiva, la capacitat d'emmagatzematge i la flota de transports, sota una demanda determinista a un sistema amb múltiples sistemes de producció, múltiples productes, possibilitat de diferents centres de distribució i múltiples tipus de transport. Aquest model podria ser aplicat a distints sectors, especialment a la indústria manufacturera que disposi d'una distribució pròpia

Aquest model dissenyat difereix dels tradicionals models estratègics de planificació de capacitats en les indústries de fabricació en varis aspectes. S'ha intentat buscar molts estudis relacionats amb algunes partides tractades al model dissenyat en aquest projecte, però no s'ha trobat cap model, ni determinista ni estocàstic, que inclogui tots els aspectes presents en aquest: compra o venda d'actius en certs períodes, tractament conjunt de la planificació de totes les capacitats amb un objectiu comú i control de la flota de transports, els quals són alguns dels trets més característics del model realitzat.

La majoria de literatura trobada fa referència a l'expansió de capacitats (sobretot la productiva) en diferents escenaris, com pot ser, de demanda incerta (Ryan (2004)), o sobretot amb demanda creixent (Rajagopalan i Swaminathan (2001)). Probablement aquests estudis siguin deguts a que als últims 30-40 anys s'ha viscut en una època de bonança econòmica en que el lema era "renovar-se o morir" amb una clara referència sempre a expandir-se i acaparar més i més. Pot ser aquest hagi estat un dels causants de la situació de recessió que es viu ara, però la qüestió és que actualment la importància de la reducció d'actiu per adaptar-se al ritme que pertorqui és molt important, i s'ha acabat amb això de viure per sobre de les pròpies possibilitats. De fet, en alguns estudis es troba la planificació de renovació o substitució de capacitats degut al deteriorament d'aquestes

(Rajagopalan (1998)) però no el de la seva reducció. No és fins fa pocs anys on s'ha trobat estudis que tracten l'expansió de la mateixa forma que la reducció, la qual cosa lligaria amb el que s'ha plantejat de que els models que es realitzen van en consonància amb la situació que es viu.

Recordar que el model plantejat justament parteix de la base d'un model de planificació estratègica de capacitat productiva on ja s'incorpora la possibilitat de reduir capacitat per adaptar-se a la demanda, a més d'incorporar diverses variables econòmiques i financeres, depreciacions d'actius i consideracions fiscals, amb l'objectiu de maximitzar el balanç de caixa. En aquesta línia, l'objectiu del model que es realitza ha estat mantindre el concepte de maximitzar el balanç de caixa mitjançant la planificació estratègica de capacitats, ampliant aquesta planificació a altres processos de la cadena de subministrament, i deixant de banda aspectes fiscals.

Per tant, ens trobem davant d'un model nou que busca encaixar la planificació estratègica de capacitats dels processos de fabricació, d'emmagatzematge i de distribució, per maximitzar beneficis. Per aquesta raó el model no es centra únicament en l'estudi de la producció per satisfer la demanda, sinó que planifica com realitzar aquesta distribució. Això provoca que en el model també s'hagin tingut en compte aspectes com la possibilitat de conèixer la localització adequada d'un centre de distribució, el control de la flota de transports en la distribució de producte i la possibilitat d'abastir als mercats òptims (mercats òptims on subministrar).

Destacar especialment la forma en que s'ha modelat el concepte de planificació i control de la flota de transports, i és que, en comparació a la literatura trobada, també resulta un concepte diferent del que no se n'ha trobat referència prèvia. Com es comenta en l'apartat 3.3. són molts els investigadors que s'han interessat per la distribució de producte ja que és un tema de vital importància i multitud de possibilitats. Aquest model dóna especial rellevància al fet de disposar una flota pròpia de transports encarregada de traslladar el producte d'un lloc a un altre. El principal inconvenient que això provoca és el fet de considerar el retorn de transports un cop entregada la mercaderia, però a més també s'ha considerat el temps que tarden en circular d'un lloc a un altre i els costos d'estar aparcats, circulant buit o circulant ple. Més endavant en el plantejament del model es detalla com s'ha plantejat aquest punt, però el que es vol destacar és el control de conèixer en tot moment la posició dels transports a la xarxa de distribució, el qual ha estat difícil de modelitzar.

4. Plantejament del model:

En aquest apartat es descriu quin és el plantejament que es realitza per a l'elaboració del model, tenint en compte tots els supòsits que s'han contemplat per a la seva creació. Aprofitant el plantejament del model també es delimitaran les fronteres del mateix indicant que queda dins i que en queda fora, és a dir, s'analitzaran què o quines particularitats s'ha tingut presents en l'execució del model, i què queda fora d'estudi i no s'ha contemplat. Al mateix temps es puntualitzarà com s'han definit les pròpies fronteres.

4.1. Plantejament

Abans de començar amb el propi plantejament en sí, cal recordar que com ja s'ha comentat, el model que es realitza parteix d'un model de planificació de capacitats ja realitzat el qual s'ha volgut evolucionar ampliant aquest anàlisi a més processos de la cadena de subministrament i ajuntant un control de la flota de transports, en la distribució de mercaderies. Dit això, el present model està plantejat per a optimitzar el flux de caixa a final d'horitzó en empreses que constin, com a màxim, d'una fàbrica amb producció de varis productes, un magatzem on vagi a parar la totalitat de la producció, diferents centres de distribució, diferents àrees de demanda de producte i una flota de transports que comuniquen tots els diferents centres i àrees entre si.

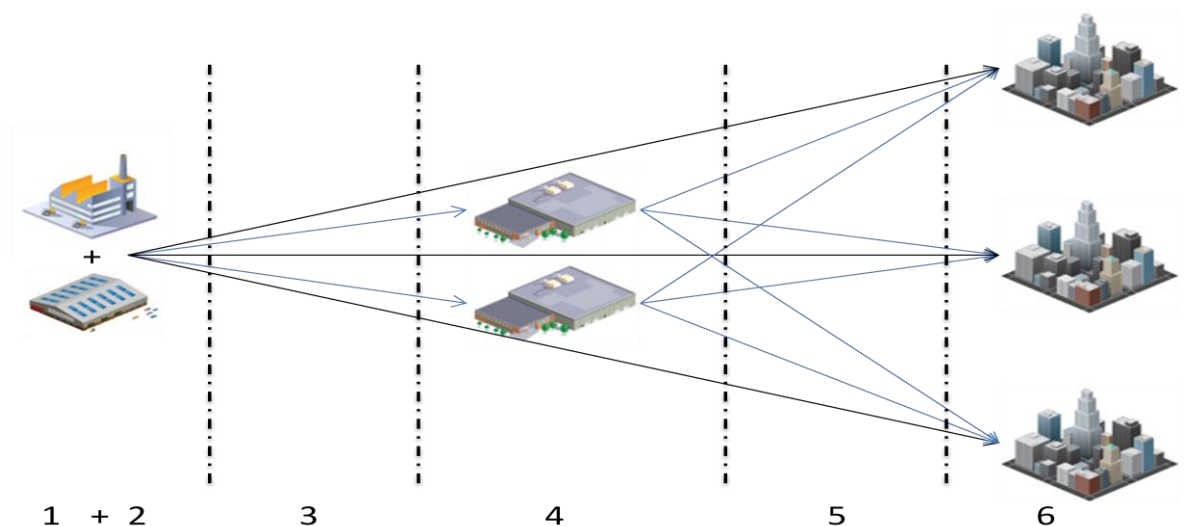


Figura 4.1. Esquema bàsic d'estudi (Font: elaboració pròpia)

Es comenta com a màxim, perquè qualsevol empresa que continguis en menor grau, o tant sols, alguna de les parts, també podria beneficiar-se del model, ja que simplement consistiria una reducció del propi. En aquest suposat cas sols caldria anular les possibilitats

que el model ofereix, però que l'empresa no disposa, subcontracta o no realitza. Per exemple, si s'estudiés la planificació i distribució d'una empresa que compleix tots els termes però no té la possibilitat d'oferir centres de distribució, simplement s'haurà de col·locar 0 centres de distribució, i el model seria essent igual d'útil. En cas contrari, si l'empresa contingués més partides de les que ofereix el model, seria necessària l'ampliació del propi per a que fos vàlid. Mes endavant, al apartat 4.5 es veuran els diferents supòsits que es realitzen per a l'elaboració del model.

La Figura 4.1 mostra el sistema tipus de cas d'estudi que s'ha contemplat, el qual es podria dividir en 6 zones tal i com marca la imatge:

- Fabricació
- Magatzematge al magatzem central
- Transport de material
- Magatzematge al centres de distribució
- Transport de material
- Entrega a les àrees comercials

Es considera que tota la fabricació de producte queda restringida a un sol centre el qual podria disposar d'un magatzem propi a tocar del centre. En aquest punt no es contempla transport degut a que es considera els dos establiments lligats entre ells de forma que tot producte acabat hauria d'anar al magatzem o directament a un transport.

El següent pas consisteix en el transport de producte, bé sigui a algun centre de distribució, o si s'escau, existeix la possibilitat de distribuir directament a una àrea comercial. En cas que es realitzés el pas previ per un centre de distribució el producte pot ser emmagatzemat per una posterior distribució o directament ser recol·locat en un nou transport que l'entregarà a l'àrea que correspongui.

Així doncs, es pot dir que el sistema que s'estudia en el model transcorre al llarg de la cadena de subministrament, entre el procés de fabricació de producte i el d'entrega del producte acabat, i és dins d'aquest sistema on s'intenta optimitzar el balanç de caixa mitjançant els cobraments per venda de producte, els quals són contrarestats pels costos fixos i variables que es tenen en cada un dels processos que es donen, i per la compra d'actiu necessaris per a desenvolupar el sistema.

Tal i com s'ha muntat el sistema, el producte sols circula en una direcció. Partint de la producció (moment on s'elabora) i fins l'entrega en les àrees de consum (moment de la venda). Per tal de visualitzar millor els possibles recorreguts de producte s'ha dissenyat la Figura 4.2.

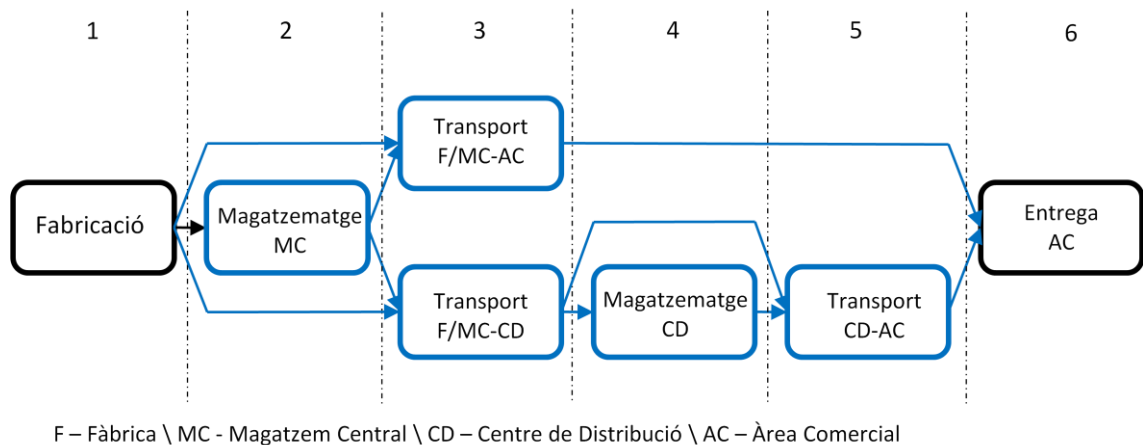


Figura 4.2. Recorregut del producte al llarg del sistema. (Font: elaboració pròpia)

Així com el producte sols circula en una direcció, els transports circulen en ambdues direccions per tal de tornar a recollir més producte. El fet que els transports es moguin en els dos sentits del model, representa una nova forma d'interpretació de la distribució de producte. Aquests transports circularan plens (no necessàriament a càrrega màxima) en un sentit i buits en l'altre. El cost de transportar si el transport va ple o buit és diferent, ja que se l'hi associa un cost variable per producte que es transporta apart del cost fix de possessió de transport i del cost fix de mobilització del transport. Tant el magatzem central com el centres de distribució disposen de un magatzem per a transports en cas de que sigui necessari el seu estacionament sense vendre'l. La Figura 4.3 mostra els diferents recorreguts que poden realitzar els transports dins el sistema.

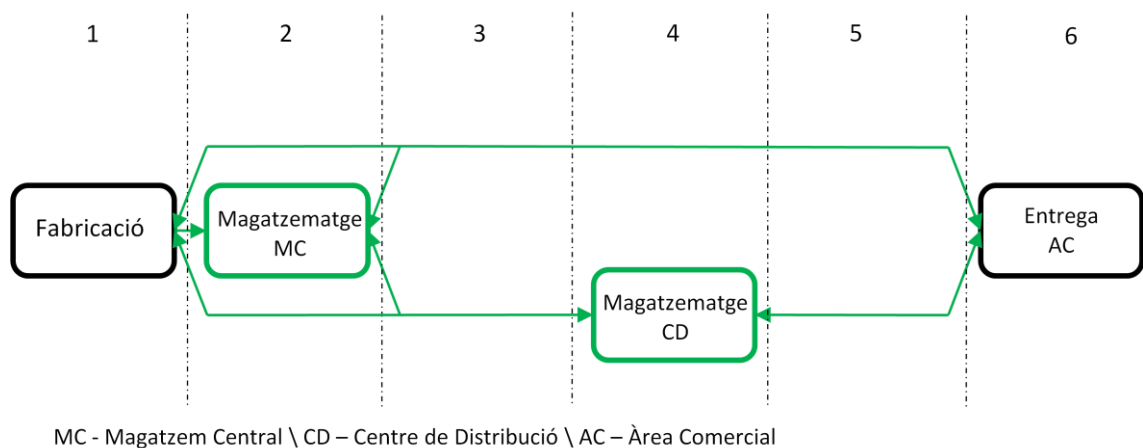


Figura 4.3. Recorregut dels transports del sistema. (Font: elaboració pròpia)

La principal finalitat de la realització del model és l'anàlisi de capacitats que es produeixen a la cadena d'aprovisionaments, entre altres aspectes. En aquest cas s'interpreten tres capacitats: productiva, de magatzematge i de transport, i el model ha d'optimitzar quines són

les quantitats necessàries de cada una per optimitzar el sistema combinant-les entre sí. Tota capacitat pot ser augmentada o disminuïda mitjançant la compra-venta a uns preus determinats en cada cas, o si s'escau també es podria donar la substitució (renovació de capacitat). La capacitat productiva es regeix en unitats de producte (p.u.), mentre que les altres dues en "unitats de magatzematge" (s.u.), les quals fan referència a l'espai que ocupa un tipus de producte en una zona concreta dividit per la quantitat de productes que caben a la mateixa zona.

La quantitat que serà necessària de cada capacitat ve regida pels beneficis i costos que comporti. La possessió d'elles comportarà que el sistema funcioni i es produeixi venda de producte, la qual cosa farà obtindre beneficis. En contraposició, tota capacitat té associada un cost de manteniment, un cost variable, un cost de possessió, etc..., que s'hauran de tindre presents. L'adequada combinació de les diferents capacitats que es vulguin tindre és el que farà al model obtindre el màxim benefici. Tots aquets aspectes, dades necessàries que conformen paràmetres del model, s'exposen de forma més concreta a l'apartat de supòsits, exposat més endavant.

El fet que es pugui jugar amb l'adquisició i venda d'actius de l'empresa ha comportat la creació de subconjunts de períodes en els que es puguin prendre aquestes decisions. No té sentit que s'adquireixi maquinària per a un sol període, per tant, al tractar-se de decisions importants, s'ha considerat que aquestes decisions es donin cada "X" períodes en funció de l'horitzó que s'analitzi. Per exemple, si es suposa un horitzó de 10 anys on cada any està subdividit en 12 mesos i es tenen 120 períodes en total, seria lògic que decisions d'aquesta envergadura es prenguessin quadrimestral o semestralment, de forma que hi haurien 30 o 20 períodes de decisió al llarg de l'horitzó. Aquest aspecte esdevé una nova innovació en la planificació de capacitats i reflexa l'importància en la presa de decisions d'aquest tipus, les quals no es poden prendre sense pensar, sinó que generalment venen precedides de grans estudis.

Pel que fa als mercats aquets poden ser subministrats o no. L'elecció de quins són els més adequats queda en funció de la seva localització i de la demanda de producte que tinguin al llarg del temps. El model triarà en cada cas quins són els més adequats, tenint present que, tot i que es pot "entrar" a qualsevol mercat, sempre que "s'abandoni" no es podrà tornar a abastir. Com el model contempla la possibilitat d'estudiar escenaris amb més d'un producte, en el cas que un mercat tingui demanda per a dos o més productes, aquest serà tractat com si fossin per separat, de forma que a una mateixa àrea es pots subministrar un producte i un altre no si és el cas, enlloc d'obligar a subministrar-los tots o no.

4.2. Funcionament

Un cop es té clar el sistema que es vol estudiar i amb quina finalitat cal plantejar que es necessita per al seu funcionament i que se'n vol extreure d'ell. Per treure'n profit del model caldrà introduir una sèrie de dades mitjançant les quals obtindrem la solució. S'ha creat la Figura 4.4 amb la intenció de mostrar justament, i de forma clara, el que es necessita i el que s'obté de l'execució del model.

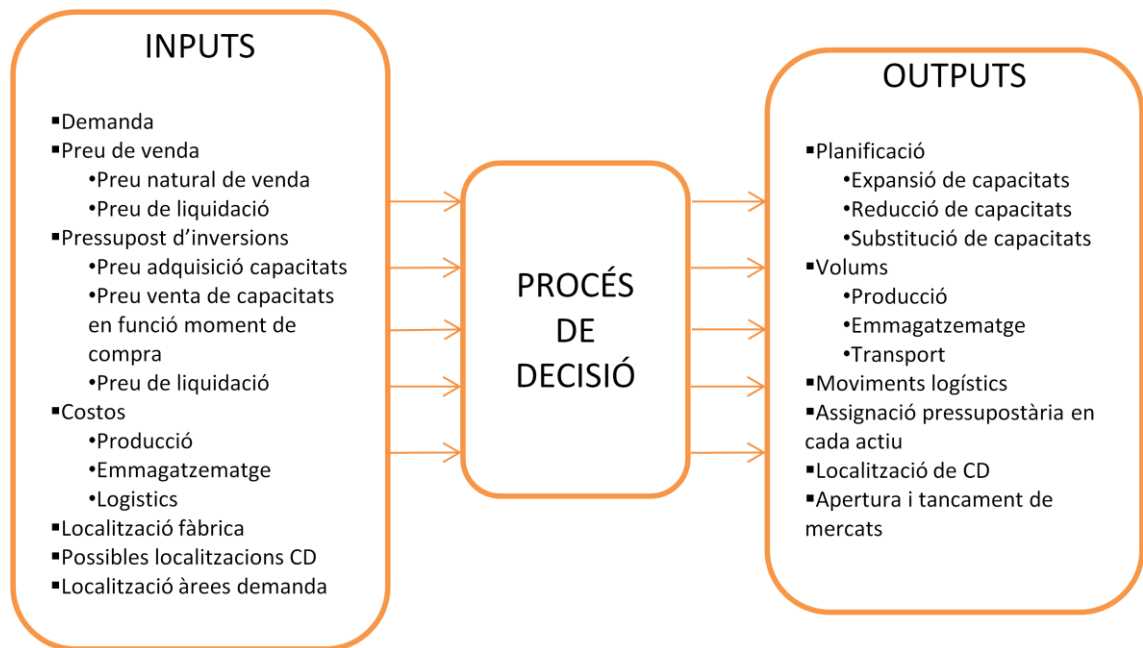


Figura 4.4. INPUT i OUTPUT del model. (Font: elaboració pròpia)

Com sempre, pensar que aquests outputs són els que fan maximitzar el balanç de caixa (objectiu del model).

4.3. Abast del model

El model està dissenyat principalment per a empreses manufactureres amb capacitat d'emmagatzematge de producte i posterior distribució. No obstant, també pot ésser utilitzat per a moltes altres aplicacions. Des d'un principi s'estableix com a final del sistema les àrees comercials, però més ben dit s'hauria d'anomenar àrees de demanda. Si s'analitza el sistema, el procés que és dona sempre és producció-magatzematge/distribució-abastiment de producte. Atenent-nos a aquest esquema es pot situar el procés en qualsevol punt de la cadena de subministrament, sempre depenent de si es vol abarcar més, o menys.

Un altre aspecte interessant és que no importa, ni la dimensió de l'empresa ni l'àrea geogràfica en la que es treballi, doncs el model segueix sent útil. Es pot considerar que

serveix tant per a una empresa petita amb distribució de producte als pobles del voltant, com per a una multinacional amb distribució a tot un país, continent o de forma internacional. Sols caldria adaptar els diferents paràmetres que es requereixen i els tipus de transports que caldrien.

4.4. Contorn del model

En aquest apartat es delimita, de forma global, què s'ha considerat en l'elaboració del model i que no, per a més endavant en el punt 4.5 i de forma més concreta, plantejar quins són els supòsits realitzats

El model està definit de forma que es parteix de "0" i s'acaba en "0" amb algunes particularitats. Dit d'una altra forma, el model comença sense cap tipus de capacitat disponible, també es finalitza sense cap capacitat, i és al llarg del procés on es realitzen les compres o ventes de capacitat que fan funcionar al sistema. Per tal d'acabar sense capacitats, al arribar al final de l'horitzó es venen tots els actius disponibles a preus de liquidació. Aquest concepte és important ja que delimita clarament l'estat inicial i l'estat final en que actua el model dissenyat. Al tractar-se d'una planificació de capacitats, el que es busca és trobar la combinació d'aquestes que resulti més adequada en un escenari concret, i d'aquí que es parteixi d'aquesta idea. En conseqüència altres factors com els nivells d'estoc també s'interpreten nuls inicialment.

Les petites particularitats de les que es parlen representen elements que, a diferencia del que s'ha comentat, si que s'han considerat com ja presents i coneguts en qualsevol sistema plantejable, però que poden variar entre diferents escenaris. Es tracta de:

- Localització de la fàbrica i el seu magatzem corresponent
- Localització de les diferents àrees comercials d'estudi
- Possibles localitzacions de centres de distribució
- Coneixement de les rutes disponibles entre centres

En definitiva, en tot escenari que es vulgui plantejar ha de ser coneguda la xarxa de connexions entre: un centre de fabricació; possibles centres de distribució; i les diferents àrees comercials. Amb aquesta base s'executa el model, al qual evidentment, cal introduir tots els paràmetres necessaris per a que funcioni (demandes, preus, costos,...).

Fins ara s'ha plantejat que és el que s'ha considerat en la realització de l'estudi però caldria també delimitar, per una banda, el contorn o frontera del mateix, i per un altre, el que no en forma part, o millor dit, el que s'ha deixat implícit per no complicar el model.

En relació als aspectes que es podria dir que estan implícits, es refereix a impostos derivats d'exercir una activitat comercial, o els costos per contractació d'empleats. Es tracta de

costos que van molt lligats a la possessió de capacitats i per aquest motiu s'ha considerats implícits entre els costos fixos i els costos variables de les mateixes capacitats. S'ha de pensar que el model planeja l'avaluació d'un sistema a gran escala on la valoració concreta de cada empleat, o de qualsevol avaria que es pugui produir, s'escapen molt de l'objectiu principal que es busca.

Pel que fa a les fronteres del sistema, per un costat es té la fàbrica i per l'altre les àrees comercials. A les dites àrees no hi ha problema, ja que un cop s'entrega la càrrega es finalitza el procés, però pel que és la fàbrica cal destacar que existeix tot un procés anterior que queda fora d'estudi però que cal tindre present que hi és. Aspectes com: la disponibilitat de matèria prima per a la fabricació de producte, com transportar-la o com comprar-la no han estat considerats i requereixen d'un estudi apart. Probablement el propi model fos capaç de planejar aquest abastiment de matèria adaptant-lo a la situació corresponent, però això es un altre tema. El fet que es puguin produir avaries tampoc s'ha tingut presents ja que per molt que es tingui una probabilitat de producció, aquesta sempre és variable i resulta complicat.

També queda fora de l'àmbit d'estudi consideracions del tipus que pel fet de no subministrar una demanda en algun mercat es poguessin produir canvis a la seva corba de oferta-demanda; o les possibles afectacions que pugui tindre el fet d'augmentar capacitats o vendre capacitats que poguessin condicionar el transcurs normal previst del sistema. És a dir que pel fet d'ampliar un magatzem es perdés una mica de la capacitat que es tenia a causa de l'adaptació de la nova. Aquests són aspectes que també s'han deixat fora de la frontera degut a la seva dificultat de preveure i de modelitzar.

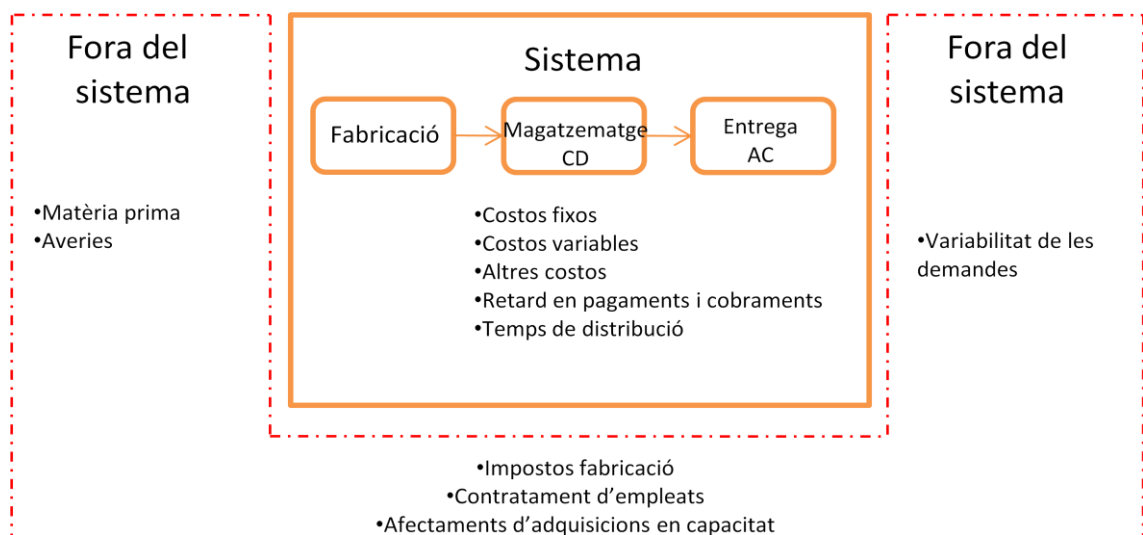


Figura 4.5. "IN & OUT" del sistema. (Font: elaboració pròpia)

4.5. Supòsits:

Presentació concreta i específica dels supòsits realitzats per a l'elaboració del model. Al partir de la base d'un model ja conegut, el concepte de molts d'aquets supòsit s'ha extret de l'anterior model (bàsicament els referents a l'anàlisi de capacitats), altres ja havien estat plantejats pel tutor del projecte per a la formulació d'un nou model i d'altres han estat resultat derivat de les reunions entre tutor i alumne en el moment de la formalització i escriptura del nou model.

Es realitzen els següents supòsits:

- L'horitzó es finit, dividit en exercicis anuals on cada un d'ells es divideix en períodes. Com a exemple, un horitzó de 10 anys dividit en mesos suposaria 120 períodes en total.
- Existeixen uns períodes de decisió en els quals es poden prendre decisions de compraventa d'actius. Aquets engloben petits conjunts de períodes però, generalment, seran inferiors al exercicis anuals. Seguint l'exemple anterior es suposarà l'inici de cada trimestre com període de decisió, de forma que cada període de decisió englobarà 3 períodes, i en tot l'horitzó existiran 40 períodes de decisió.
- Hi ha C àrees comercials, $K+1$ magatzems potencials (un magatzem central més K possibles centres de distribució) i L tipus de transport.
- La demanda a cada àrea comercial és coneguda i serà satisfeta mitjançant el sistema productiu i el sistema logístic. La demanda s'ha de satisfer al mateix període i no pot ser transferida d'un període a un altre.
- El sistema productiu està limitat per una capacitat de producció. Aquesta capacitat pot augmentar o disminuir cada període de decisió mitjançant la compra o venda de diferents tipus d'equips de producció. Es consideren uns costos fixos de manteniment dels equips, així com uns costos variables de producció que dependran de la capacitat actual.
- Tot el producte fabricat va al magatzem central i des d'aquí va als centres de distribució. La demanda de les àrees comercials pot ser satisfeta des del magatzem central com dels centres de distribució.
- En cada període, la producció i la demanda per unitat de temps són constants.
- Satisfacció de la demanda d'una àrea comercial: en cada període es pot decidir entre satisfer-la o bé no satisfer-la. Si s'abandona el mercat (és a dir si en un període es satisfà i en el següent no) no es pot tornar a entrar (no es pot tornar a satisfer). A cada àrea comercial es podrà satisfer la demanda dels productes per separat com si es tractessin de mercats diferents independents (podria donar-se el cas que es una àrea amb n productes es satisfés la demanda de 2 productes i no la dels $n-2$ restants).

- Cada magatzem té una capacitat de magatzematge limitada que pot augmentar de forma discreta. Aquesta s'expressarà com "unitats d'emmagatzematge" (s.u.) que representarà el espai (volum) útil d'emmagatzematge del que es disposarà en cada magatzem.
- Cada magatzem pot subministrar unes determinades àrees comercials i la demanda de cada àrea comercial es pot subministrar des de diversos magatzems.
- El transport de producte:
 - Es disposarà d'una flota de transports la qual cobrirà totes les necessitats de transport.
 - Cada recorregut tindrà una durada (retard en l'entrega) que depèn del tipus de transport i del recorregut que es faci, que representarà el temps que tarda cada transport en realitzar l'esmentada distància.
 - Un cop les càrregues de producte arribin a destí, tant el transport com la càrrega haurà de quedar estacionada fins al pròxim període, de forma que la sortida de càrrega solsament es podrà produir a l'inici de cada període.
 - La capacitat del transport està delimitada per "unitats d'emmagatzematge" (s.u.), les quals estan associades al volum del que disposa el tipus de transport. En cas d'estar limitat pel pes enlloc del volum, es considera el pes que pot portar com el volum útil per aquell producte i s'actuarà de la mateixa forma
 - La quantitat transportada en un període ha de ser superior a una unitat de lot que depèn del tipus de transport.
- Costos:
 - Cost d'adquisició de capacitat d'emmagatzematge (depèn de la ubicació del magatzem i de la capacitat).
 - Cost fix d'emmagatzematge per període (depèn de la ubicació del magatzem, i de les seves capacitats d'emmagatzematge i de flux).
 - Cost d'emmagatzematge d'un producte per unitat de temps (depèn de la ubicació del magatzem, de la seva capacitat d'emmagatzematge, i de la quantitat de producte emmagatzemat).
 - Cost d'adquisició de transports (depèn del tipus de transport)
 - Cost fix per període produït per la possessió de la flota de transports. (depèn de la quantitat de transports que es disposen i del tipus)
 - Cost variable de transportar producte entre centres: cost provinent de transportar un sobrepès al propi del transport (depèn de les ubicacions dels magatzems d'origen i destí, i de la quantitat de producte transportat).

- Cost de utilització de transport: cost requerit per la mobilització sense tindre en compte la càrrega d'un centre a un altre (depèn del tipus de transport)
- Inicialment es prendrà que únicament es disposa de estoc inicial al magatzem central, i els centres de distribució originàriament no contindran estoc de cap producte. Tots els tipus de transports estaran en el magatzem de transports del magatzem central, de forma que no hi haurà cap transport en trànsit ni carregat ni descarregat. Això provocarà que la demanda inicial no podrà ser satisfeta fins, com a mínim, transcorri el temps necessari per que aquesta pugui arribar a la seva destinació.

L'objectiu final és maximitzar el balanç al concloure l'activitat, un vegada s'hagin realitzat o rebut tots els pagaments, i després d'haver venut tots els actius que es disposen.

Tots els valors monetaris s'expressen en unitats monetàries (u.m.).

4.6. Dades

Paràmetres:

| | |
|---------------|--|
| Y | Nombre d'anys en l'horitzó. |
| T | Nombre de períodes en un any. |
| TD | Nombre de períodes en que es prenen decisions |
| N | Nombre de productes. |
| K | Nombre de centres de distribució. |
| C | Nombre de centres comercials. |
| L | Nombre de tipus de transport. |
| ϑ_M | Nombre de tipus d'equips de producció. |
| d_{nct} | Demanda de producte n en l'àrea c durant el període t ($n = 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| p_{nt} | preu del producte n en el període t ($n = 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| α_n | Capacitat requerida per la producció de una unitat de producte n ($n = 1, \dots, N$). |
| β_n | "Unitats de magatzem" (s.u.) requerides per emmagatzemar una unitat de producte n ($n = 1, \dots, N$). |

| | |
|-------------------|--|
| γ | Factor reductor del preu de venda dels productes en estoc i en transit al final de l'horitzó (2preu de derribo”). |
| τ^s | Número de períodes entre la venda del producte i el moment en que es rep el pagament |
| τ_{kl}^{FK} | Número de períodes que transcorren des de la sortida del transport l del magatzem central i l'arribada al magatzem de distribució k ($k = 1, \dots, K; l = 1, \dots, L$). |
| τ_{kcl}^{KC} | Número de períodes que transcorren des de la sortida del transport l del magatzem de distribució k i la seva arribada a l'àrea de demanda c ($k = 1, \dots, K; c = 1, \dots, C; l = 1, \dots, L$). |
| τ_{cl}^{FC} | Número de períodes que transcorren des de la sortida d'un transport l de l'àrea de demanda c i la seva arribada al magatzem central ($c = 1, \dots, C; l = 1, \dots, L$). |
| τ^p | Número de períodes des de l'adquisició del cost variables i el pagament d'aquest. |
| M_i | capacitat de producció del equip de producció de tipus i ($i = 1, \dots, \vartheta_M$). |
| W | capacitat de magatzematge. |
| T_l | capacitat dels transport en funció del tipus l ($l = 1, \dots, L$). |
| I_i^M | Cost requerit per adquirir equips de producció per tal d'augmentar la capacitat de producció M_i ($i = 1, \dots, \vartheta_M$). Aquest pagament es realitza en el mateix període en que es realitza la inversió. |
| I^{WMC} | Cost d'adquisició de capacitat de magatzematge en el magatzem central. |
| I_k^{WCD} | Cost d'adquisició de capacitat de magatzematge en els centres de distribució ($k = 1, \dots, K$). |
| I_l^T | Cost requerit per adquirir tipus de transport l durant el període t amb la finalitat de poder transportar més material per poder satisfer les necessitats de demanda de l'empresa ($l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, Y \cdot T$). Aquest pagament es realitza en el mateix període en que es realitza la inversió. |
| $S_{i,td,sd}^M$ | Preu de venda de l'equip de producció de capacitat M_i adquirit en el període sd i venut al període td ($i = 1, \dots, \vartheta_M; td = 1, \dots, TD; sd = 1, \dots, td-1$). |
| $S_{i,sd}^{MFH}$ | Preu de venda de l'equip de producció de capacitat M_i adquirit en el període sd i venut al final de l'horitzó temporal TD ($i = 1, \dots, \vartheta_M; sd = 1, \dots, TD$). |
| $S_{td,sd}^{WMC}$ | Preu de venda de les ampliacions de magatzem central adquirides en el període sd i venudes al període td ($td = 1, \dots, TD; sd = 1, \dots, td-1$). |

| | |
|----------------------|--|
| S_{sd}^{WMCFH} | Preu de venda de les ampliacions de magatzem central adquirit en el període sd i venut al final de l'horitzó temporal $TD (sd = 1, \dots, TD)$. |
| $S_{k,td,sd}^{WCD}$ | Preu de venda de les ampliacions de magatzem dels centres de distribució k , adquirides en el període sd i venudes al període td ($k = 1, \dots, K$; $td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| $S_{k,sd}^{WCDFH}$ | Preu de venda de les ampliacions de magatzem dels centres de distribució k , adquirit en el període sd i venut al final de l'horitzó temporal $TD (k = 1, \dots, K$; $sd = 1, \dots, TD)$. |
| $S_{l,td,sd}^T$ | Preu de venda del tipus de transport l adquirit en el període sd i venut al període td ($l = 1, \dots, L$; $td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| $S_{l,sd}^{TFH}$ | Preu de venda del tipus de transport l adquirit en el període sd i venut al final de l'horitzó temporal $TD (l = 1, \dots, L$; $sd = 1, \dots, TD)$. |
| $CF_{i,td,sd}^M$ | Cost fix de l'equip de producció de capacitat M_i usats al període td , adquirits en el període sd ($i = 1, \dots, \mathcal{G}_M$; $td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| $CF_{td,sd}^{WMC}$ | Cost fix "d'unitats de magatzem" (s.u.) utilitzades en el magatzem central en el període t , que han estat adquirides en el període s ($td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| $CF_{k,td,sd}^{WCD}$ | Cost fix "d'unitats de magatzem" (s.u.) utilitzades en el centre de distribució k en el període td , que han estat adquirides en el període sd ($k = 1, \dots, K$; $td = 1, \dots, TD$; $s = 1, \dots, td-1$). |
| $CF_{l,td,sd}^T$ | Cost fix de transports per al tipus de transport l , en el període td i que han estat adquirits al període sd ($l = 1, \dots, L$; $td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| cv_{ni}^M | Cost variables de fabricació ($n = 1, \dots, N$; $i = 1, \dots, \mathcal{G}_M$). |
| cv_n^{WMC} | Cost variables de magatzematge d'un producte n en el magatzem central per unitat de temps t ($n = 1, \dots, N$). |
| cv_{nk}^{WCD} | Cost variables de magatzematge d'un producte n en els centres de distribució k per unitat de temps t ($n = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, K$). |
| cv_{nkl}^{TMCK} | Cost de transportar una unitat de producte n del magatzem central al centre de distribució k mitjançant el transport l ($n = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, K$; $l = 1, \dots, L$). |
| cv_{ncl}^{TMCC} | Cost de transportar una unitat de producte n del magatzem central a l'àrea comercial de demanda c mitjançant el transport l ($n = 1, \dots, N$; $c = 1, \dots, C$; $l = 1, \dots, L$). |
| cv_{nkl}^{TKC} | Cost de transportar una unitat de producte n del centre de distribució k al àrea c mitjançant el transport l ($n = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, K$; $c = 1, \dots, C$; $l = 1, \dots, L$). |

| | |
|--------------------|--|
| CT_l^{TRANS} | Cost requerit per mobilitzar el transport l ($l = 1, \dots, L$) durant el període t . Aquest pagament es realitza en el mateix període en que es realitza la inversió. |
| CT_{lt}^{WMC} | Cost per tindre estacionat el transport l en el magatzem central durant el període t ($l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| CT_{klt}^{WCD} | Cost per tindre estacionat el transport l en el centre de distribució k durant el període t ($k = 1, \dots, K; l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| h_0 | Balanç inicial. |
| $s\phi_n^{MC}$ | Estoc inicial del producte n ($n=1, \dots, N$) al magatzem central. |
| $s\phi_{nk}^{CD}$ | Estoc inicial del producte n ($n=1, \dots, N$) als centres de distribució k ($k=1, \dots, K$). |
| $s\phi_l^{LMC}$ | Estoc inicial del transport l ($l=1, \dots, L$) en el magatzem central |
| $s\phi_{kl}^{LCD}$ | Estoc inicial del transport l ($l=1, \dots, L$) als centres de distribució k ($k=1, \dots, K$). |

Variables reals:

| | |
|-----------------|---|
| q_{nit} | Número de unitats de producte n manufacturades en l'equipament de producció i en el període t ($n = 1, \dots, N; i = 1, \dots, \mathcal{G}_M; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| s_{nkl}^{TFK} | Quantitat de producte n que surt des del magatzem central al centre de distribució k mitjançant el transport l en el període t ($n = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K; l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| s_{nkc}^{TKC} | Quantitat de producte n que surt des de el centre de distribució k a l'àrea geogràfica c mitjançant el transport l en el període t ($n = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K; c = 1, \dots, C; l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| s_{ncl}^{TFC} | Quantitat de producte n que surt des del magatzem central a l'àrea geogràfica c mitjançant el transport l en el període t ($n = 1, \dots, N; c = 1, \dots, C; l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| s_{nt}^{MC} | Nivell de estoc en el magatzem central per el producte n durant el període t ($n = 1, \dots, N; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| s_{nkt}^{CD} | Nivell de estoc per el producte n en el centre de distribució k durant el període t ($n = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| h_t^+, h_t^- | Respectivament, valors positiu i negatiu del balanç al final del període t . |

Variables enteres:

| | |
|----------------|---|
| s_{lt}^{LMC} | Número de transports del tipus l que es troben estacionats en el magatzem central durant el període t ($l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
|----------------|---|

| | |
|---------------------|---|
| s_{klt}^{LCD} | Número de transports del tipus l que es troben estacionats en el centre de distribució k durant el període t ($n = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, K$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| $Z_{i,td,sd}^M$ | número d'equips de producció amb capacitat M_i usats al període td , adquirits en el període sd ($i = 1, \dots, \vartheta_M$; $td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| $Z_{td,sd}^{WMC}$ | número "d'unitats de magatzem" (s.u.) utilitzades en el magatzem central en el període t , que han estat adquirides en el període s ($td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| $Z_{k,td,sd}^{WCD}$ | número "d'unitats de magatzem" (s.u.) utilitzades en el centre de distribució k en el període td , que han estat adquirides en el període sd ($k = 1, \dots, K$; $td = 1, \dots, TD$; $s = 1, \dots, td-1$). |
| $Z_{l,td,sd}^T$ | Número de transports que es disposen en l'empresa (flota de l'empresa) per al tipus de transport l , en el període td i que han estat adquirits al període sd ($l = 1, \dots, L$; $td = 1, \dots, TD$; $sd = 1, \dots, td-1$). |
| X_{klt}^{TFK} | Número de transports del tipus l que es troben al període t realitzant el trajecte del magatzem central al centre de distribució k ($k = 1, \dots, K$; $l = 1, \dots, L$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| X_{clt}^{TFC} | Número de transports del tipus l que es troben al període t realitzant el trajecte del magatzem central a l'àrea comercial de demanda c ($c = 1, \dots, C$; $l = 1, \dots, L$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| X_{klt}^{TKF} | Número de transports del tipus l que es troben al període t realitzant el trajecte del centre de distribució k al magatzem central ($k = 1, \dots, K$; $l = 1, \dots, L$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| X_{kclt}^{TKC} | Número de transports del tipus l que es troben al període t realitzant el trajecte del centre de distribució k a l'àrea comercial de demanda c ($k = 1, \dots, K$; $c = 1, \dots, C$; $l = 1, \dots, L$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| X_{clt}^{TCF} | Número de transports del tipus l que es troben al període t realitzant el trajecte de l'àrea comercial de demanda c al magatzem central ($c = 1, \dots, C$; $l = 1, \dots, L$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |
| X_{kclt}^{TCK} | Número de transports del tipus l que es troben al període t realitzant el trajecte de l'àrea comercial de demanda c al centre de distribució k ($k = 1, \dots, K$; $c = 1, \dots, C$; $l = 1, \dots, L$; $t = 1, \dots, Y \cdot T$). |

Variables binaries:

| | |
|-------------|--|
| $a_{nc,td}$ | 1 si s'ha satisfet en algun període anterior o igual a t de l'horitzó la demanda del producte n en l'àrea c (s'ha activat el mercat), 0 en cas contrari ($n = 1, \dots, N$; $c = 1, \dots, C$; $td = 1, \dots, TD$). |
|-------------|--|

| | |
|-------------|---|
| $b_{nc,td}$ | 1 si s'ha deixat de satisfer en algun període anterior o igual a t de l'horitzó la demanda del producte n en l'àrea c (s'ha desactivat el mercat), 0 en cas contrari ($n = 1, \dots, N$; $c = 1, \dots, C$; $td = 1, \dots, TD$). |
|-------------|---|

Taula 4.1. Dades del model

5. Model:

5.1. La funció objectiu

$$\begin{aligned}
 [MAX] Z = & h_{Y,T}^+ - h_{Y,T}^- + \sum_{t=Y \cdot T - \tau^s + 1}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C (p_{nt} \cdot d_{nct} \cdot (a_{nct} - b_{nct})) + \sum_{n=1}^N (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{n,Y \cdot T}^{MC}) \\
 & + \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{nk,Y \cdot T}^{CD}) + \sum_{t=Y \cdot T - \tau_{kl}^{FK}}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{nkl,t}^{TFK}) \\
 & + \sum_{t=Y \cdot T - \tau_{kcl}^{KC}}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{nkl,t}^{TKC}) + \sum_{t=Y \cdot T - \tau_{cl}^{FC}}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{ncl,t}^{TFC}) \\
 & + \sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{sd=1}^{TD} (SM_{i,sd}^{MFH} \cdot Z_{i,TD,sd}^{MC}) + \sum_{sd=1}^{TD} (SM_{sd}^{WMC FH} \cdot Z_{TD,sd}^{MC}) + \sum_{k=1}^K \sum_{sd=1}^{TD} (SM_{k,sd}^{WCDFH} \cdot Z_{k,TD,sd}^{WCD}) \\
 & + \sum_{l=1}^L \sum_{sd=1}^{TD} (ST_{l,sd}^{FH} \cdot Z_{l,TD,sd}^T) - \sum_{t=Y \cdot T - \tau^p + 1}^{Y \cdot T} \sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{n=1}^N cv_{ni}^M \cdot q_{nit} - \sum_{t=Y \cdot T - \tau^p + 1}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N cv_n^{WMC} \cdot s_{nt}^{MC} \\
 & - \sum_{t=Y \cdot T - \tau^p + 1}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N cv_{nk}^{WCD} \cdot s_{nkt}^{CD} \quad (F.O.)
 \end{aligned}$$

5.2. Restriccions

Balanç de producte al magatzem central:

$$s\emptyset_n^{MC} + \sum_{i=1}^{\vartheta_M} q_{ni1} = s_{n1}^{MC} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L s_{nkl1}^{TFK} + \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L s_{ncl1}^{TFC} \quad \forall n \quad (1)$$

$$s_{n,t-1}^{MC} + \sum_{i=1}^{\vartheta_M} q_{nit} = s_{nt}^{MC} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L s_{nkl,t}^{TFK} + \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L s_{ncl,t}^{TFC} \quad \forall n \quad t = 2, \dots, Y \cdot T \quad (2)$$

Balanç de producte als centres de distribució:

$$s\emptyset_{nk}^{CD} + \sum_{l_1 \in L_1} s_{nkl_1, 1 - \tau_{k,l_1}^{FK}}^{TFK} = s_{nk1}^{CD} + \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L s_{nkl1}^{TKC} \quad \forall n \quad \forall k \quad (3)$$

- $L_1 = \{ l_1 = 1, \dots, L \mid 1 > \tau_{k,l_1}^{FK} \}$

$$s_{nk,t-1}^{CD} + \sum_{l_1 \in L_1} s_{nkl,t-\tau_{k,l_1}^{FK}}^{TFK} = s_{ntk}^{CD} + \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L s_{nkclt}^{TKC} \quad \forall n \quad \forall k \quad t = 2, \dots, Y \cdot T \quad (4)$$

- $L_1 = \{ l_1 = 1, \dots, L \mid t > \tau_{k,l_1}^{FK} \}$

Balanç de producte a les àrees:

$$\sum_{l_1 \in L_1} s_{ncl,t-\tau_{c,l_1}^{FC}}^{TFC} + \sum_{k=1}^K \sum_{l_2 \in L_2} s_{nkcl,t-\tau_{kc,l_2}^{KC}}^{TKC} = d_{nct} \cdot (a_{nc,td} - b_{nc,td}) \quad \forall n \quad \forall c \quad \forall td \quad \forall t \quad (5)$$

- $L_1 = \{ l_1 = 1, \dots, L \mid t > \tau_{c,l_1}^{FC} \}$

- $L_2 = \{ l_2 = 1, \dots, L \mid t > \tau_{kc,l_2}^{KC} \}$

Capacitats de producció, magatzem i transports:

$$\sum_{n=1}^N (\alpha_n \cdot q_{nit}) \leq \sum_{sd=1}^{td} (M_i \cdot Z_{i,td,sd}^M) \quad \forall i \quad \forall td \quad \forall t \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^N (\beta_n \cdot s_{nt}^{MC}) \leq \sum_{sd=1}^{td} (W \cdot Z_{td,sd}^{WMC}) \quad \forall td \quad \forall t \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^N (\beta_n \cdot s_{ntk}^{CD}) \leq \sum_{sd=1}^{td} (W \cdot Z_{k,td,sd}^{WCD}) \quad \forall k \quad \forall td \quad \forall t \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N (\beta_n \cdot s_{nkl,t}^{TFK}) \leq T_l \cdot X_{klt}^{TFK} \quad \forall k \quad \forall l \quad \forall t \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^N (\beta_n \cdot s_{nkcl,t}^{TKC}) \leq T_l \cdot X_{kcl,t}^{TKC} \quad \forall k \quad \forall c \quad \forall l \quad \forall t \quad (10)$$

$$\sum_{n=1}^N (\beta_n \cdot s_{ncl,t}^{TFC}) \leq T_l \cdot X_{cl,t}^{TFC} \quad \forall c \quad \forall l \quad \forall t \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
& s_{lt}^{LMC} + \sum_{k=1}^K s_{klt}^{LCD} + \sum_{k=1}^K \sum_{t_1 \in T_1} (X_{kl,t_1}^{TFK} + X_{kl,t_1}^{TKF}) + \sum_{c=1}^C \sum_{t_2 \in T_2} (X_{cl,t_2}^{TFC} + X_{cl,t_2}^{TCF}) \\
& + \sum_{c=1}^C \sum_{k=1}^K \sum_{t_3 \in T_3} (X_{kcl,t_3}^{TKC} + X_{kcl,t_3}^{TCK}) = \sum_{s=1}^{s=t} Z_{lts}^T \quad \forall l \quad \forall t \quad (12)
\end{aligned}$$

- $T_1 = \{ t_1 = 1, \dots, T \mid t_1 \leq t, t_1 > t - \tau_{kl}^{FK} \}$
- $T_2 = \{ t_2 = 1, \dots, T \mid t_2 \leq t, t_2 > t - \tau_{cl}^{FC} \}$
- $T_3 = \{ t_3 = 1, \dots, T \mid t_3 \leq t, t_3 > t - \tau_{kcl}^{KC} \}$

Satisfacció de la demanda d'una àrea comercial:

$$a_{nc,td} \geq a_{nc,td-1}$$

$$b_{nc,td} \geq b_{nc,td-1} \quad \forall n \quad \forall c \quad td = 2, \dots, TD \quad (13)$$

$$\sum_{td=1}^{TD} (a_{nc,td} - b_{nc,td}) \geq 0 \quad \forall n \quad \forall c \quad \forall td \quad (14)$$

Balanç de control de la flota de transports:

$$s\phi_l^{LMC} + \sum_{k_1 \in K_1} X_{k_1,l,1-\tau_{k_1,l}^{FK}}^{TKF} + \sum_{c_1 \in C_1} X_{c_1,l,1-\tau_{c_1,l}^{FC}}^{TCF} \leq s_{l1}^{LMC} + \sum_{k=1}^K X_{kl1}^{TFK} + \sum_{c=1}^C X_{cl1}^{TFC} \quad \forall l \quad (15)$$

- $K_1 = \{ k_1 = 1, \dots, K \mid t > \tau_{k_1,l}^{FK} \}$
- $C_1 = \{ c_1 = 1, \dots, C \mid t > \tau_{c_1,l}^{FC} \}$

$$\begin{aligned}
s\phi_{lk}^{LCD} + \sum_{k_1 \in K_1} X_{k_1,l,t-\tau_{k_1,l}^{FK}}^{TFK} + \sum_{c=1}^C \sum_{k_2 \in K_2} X_{k_2,c,l,1-\tau_{k_2,cl}^{KC}}^{TCK} &= s_{kl1}^{LCD} + \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K X_{kl1}^{TKF} + \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{k=1}^K X_{kcl1}^{TKC} \\
&\quad \forall k \quad \forall l \quad (16)
\end{aligned}$$

- $K_1 = \{ k_1 = 1, \dots, K \mid t > \tau_{k_1,l}^{FK} \}$
- $K_2 = \{ k_2 = 1, \dots, K \mid t > \tau_{k_2,cl}^{KC} \}$

$$s_{lk,t-1}^{LCD} + \sum_{k_1 \in K_1} X_{k_1,l,t-\tau_{k_1,l}^{FK}}^{TFK} + \sum_{c=1}^C \sum_{k_2 \in K_2} X_{k_2,c,l,1-\tau_{k_2,cl}^{KC}}^{TCK} = s_{kl,t}^{LCD} + X_{kl,t}^{TKF} + \sum_{c=1}^C X_{kcl,t}^{TKC}$$

$$\forall k \quad \forall l \quad t = 2, \dots, Y \cdot T \quad (17)$$

- $K_1 = \{ k_1 = 1, \dots, K \mid t > \tau_{k_1, l}^{FK} \}$
- $K_2 = \{ k_2 = 1, \dots, K \mid t > \tau_{k_2, cl}^{KC} \}$

$$\sum_{c_1 \in C_1} X_{kl, t - \tau_{c_1, l}^{FC}}^{TFC} + \sum_{k=1}^K \sum_{c_2 \in C_2} X_{k, c_2, l, t - \tau_{k, c_2, l}^{KC}}^{TKC} = X_{clt}^{TCF} + \sum_{k=1}^K X_{kc lt}^{TCK} \quad \forall c \quad \forall l \quad \forall t \quad (18)$$

- $C_1 = \{ c_1 = 1, \dots, K \mid t > \tau_{c_1, l}^{FC} \}$
- $C_2 = \{ c_2 = 1, \dots, K \mid t > \tau_{k, c_2, l}^{KC} \}$

Balanç de caixa:

$$\begin{aligned}
h_t^+ - h_t^- &= h_{t-1}^+ - h_{t-1}^- + \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C p_{n,t-\tau^s} \cdot d_{nc,t-\tau^s} \cdot (a_{nc,t-\tau^s} - b_{nc,t-\tau^s}) \\
&+ \sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{sd=1}^{td-1} S_{i,td,sd}^M \cdot (Z_{i,td-1,sd}^M - Z_{i,td,sd}^M) + \sum_{sd=1}^{td-1} S_{td,sd}^{WMC} \cdot (Z_{td-1,sd}^{WMC} - Z_{td,sd}^{WMC}) \\
&+ \sum_{k=1}^K \sum_{sd=1}^{td-1} S_{k,td,sd}^{WCD} \cdot (Z_{k,td-1,sd}^{WCD} - Z_{k,td,sd}^{WCD}) + \sum_{l=1}^L \sum_{sd=1}^{td-1} S_{l,td,sd}^T \cdot (Z_{l,td-1,sd}^T - Z_{l,td,sd}^T) \\
&- \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{\vartheta_M} cv_{ni}^M \cdot q_{ni,t-\tau^p} - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K cv_n^{WMC} \cdot s_{n,t-\tau^p}^{MC} - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K cv_{nk}^{WCD} \cdot s_{nk,t-\tau^p}^{CD} \\
&- \sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{sd=1}^{td} (CF_{i,td,sd}^M \cdot Z_{i,td,sd}^M) - \sum_{sd=1}^{td} (CF_{td,sd}^{WMC} \cdot Z_{td,sd}^{WMC}) - \sum_{k=1}^K \sum_{sd=1}^{td} (CF_{k,td,sd}^{WCD} \cdot Z_{k,td,sd}^{WCD}) \\
&- \sum_{l=1}^L \sum_{sd=1}^{td} (CF_{l,td,sd}^T \cdot Z_{l,td,sd}^T) - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (cv_{nkl}^{TMCK} \cdot s_{nkl}^{TFK}) - \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (cv_{ncl}^{TMCC} \cdot s_{ncl}^{TFC}) \\
&- \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (cv_{nkcl}^{TKC} \cdot s_{nkcl}^{TKC}) - \sum_{l=1}^L CT_{lt}^{TRANS} \cdot \left(\sum_{k=1}^K X_{klt}^{TFK} + \sum_{c=1}^C X_{clt}^{TFC} + \sum_{k=1}^K X_{klt}^{TKF} \right. \\
&+ \left. \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C X_{kclt}^{TKC} + \sum_{c=1}^C X_{clt}^{TCF} + \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C X_{kclt}^{TCK} \right) - \sum_{l=1}^L (CT_l^{WMC} \cdot s_{lt}^{LMC}) \\
&- \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (CT_{kl}^{WCD} \cdot s_{klt}^{LCD}) - \sum_{i=1}^{\vartheta_M} (I_i^M \cdot Z_{i,td,td}^M) - (I^{WMC} \cdot Z_{td,td}^{WMC}) - \sum_{k=1}^K (I_k^{WCD} \cdot Z_{k,td,td}^{WCD}) \\
&- \sum_{l=1}^L (I_l^T \cdot Z_{l,td,td}^T)
\end{aligned} \tag{19}$$

Actius que s'utilitzen estiguin comprats abans i no s'han venut:

$$Z_{i,td,sd}^M \geq Z_{i,td+1,sd}^M \quad \forall i \quad td = 1, \dots, TD \quad sd = 1, \dots, td \quad (20)$$

$$Z_{td,sd}^{WMC} \geq Z_{td+1,sd}^{WMC} \quad td = 1, \dots, TD \quad sd = 1, \dots, td \quad (21)$$

$$Z_{k,td,sd}^{WCD} \geq Z_{k,td+1,sd}^{WCD} \quad \forall k \quad td = 1, \dots, TD \quad sd = 1, \dots, td \quad (22)$$

$$Z_{l,td,sd}^T \geq Z_{l,td+1,sd}^T \quad \forall l \quad td = 1, \dots, TD \quad sd = 1, \dots, td \quad (23)$$

5.3. Observacions

La funció objectiu (*F.O.*) representa el balanç al final de l'horitzó, en ella es té en compte per una banda, el balanç acumulat dels períodes anteriors, així com els ingressos que falten per produir-se la venda de productes dels últims τ^s períodes. Degut a que s'ha arribat al final del horitzó també es contabilitzen els ingressos per la venda dels productes que es troben en trànsit a les diferents rutes, i els ingressos d'els diferents actius dels que disposa l'empresa (equips de producció, ampliacions de magatzem i flota de transports). Per últim, es valoren els diferents costos variables del sistema pendents d'amortitzar degut al retard en els pagaments de τ^p períodes.

D'altra banda, la funció objectiu esta subjecta a diferents restriccions: les restriccions (1),(2) corresponen al balanç de producte a la fàbrica; (3) i (4) expressen el balanç als diferents centres de distribució; (5) estableix el balanç a les àrees comercials; (6) provoca que no es superin les capacitats de producció al magatzem central; (7) i (8) assegurin respectivament que les capacitats d'emmagatzematge del magatzem central i dels diferents centres de distribució, no es sobrepassin; (9),(10) i (11) limiten les quantitats que es poden transportar segons l'estucatge del que es tenia; (12) assegura que la suma de tots els transports (tant parats com en moviment) no superi la flota disponible; (13) i (14) assegurin la satisfacció de cada àrea comercial de forma que si s'abandona un mercat ja és per sempre; (15) corresponen al balanç de control de la flota de transports al magatzem central; per contra (16) i (17) assegurin el mateix però als diferents centres comercials; mentre que (18) representa el balanç de control de flota a les àrees comercials; (19) expressa el balanç al període t ; i per últim (20),(21),(22) i (23) assegurin que els actius que s'utilitzen en cada instant de temps al llarg del procés, hagin estat comprats abans i que encara no s'hagin venut.

Tant la funció objectiu (*F.O.*) com la restricció que fa referència al balanç de caixa al període t (restricció 19), estan formades per molts sumands que augmenten la dificultat de

comprensió. A més les dues estan formades per expressions que varien en funció del període t en el que s'avaluïn. Seguidament es descomponen cadascuna d'elles amb la finalitat de mostrar el que simbolitzen les diferents expressions que les componen per tal de facilitar-ne la seva comprensió.

Funció Objectiu (F.O.)

La funció objectiu, com ja s'ha comentat, tot i avaluar-la al final de l'horitzó, conté algunes expressions que depenen del període t en el que es valoren. Per tal de detallar el període t en que es valoren, seguidament es mostren les diferents entrades que componen dita funció objectiu:

Balanç final:

$$h_{Y \cdot T}^+ - h_{Y \cdot T}^-$$

Ingressos provinents de la venta de productes dels últims τ s períodes:

$$\sum_{t=Y \cdot T - \tau^S + 1}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C (p_{nt} \cdot d_{nct} \cdot (a_{nct} - b_{nct}))$$

Ingressos per la venta de productes que es troben en estoc en els magatzems:

$$\sum_{n=1}^N (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{n,Y \cdot T}^{MC}) + \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{nk,Y \cdot T}^{CD})$$

Ingressos per la venta dels productes en trànsit del magatzem central als centres de distribució:

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau_{kl}^{FK}$$

$$\sum_{t=Y \cdot T - \tau_{kl}^{FK}}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{nklt}^{TFK}) \quad t = \tau_{kl}^{FK} + 1, \dots, Y \cdot T$$

Ingressos per la venta dels productes en trànsit del magatzem central a les àrees comercials:

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau_{kcl}^{KC}$$

$$\sum_{t=Y \cdot T - \tau_{kcl}^{KC}}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{nkclt}^{TKC}) \quad t = \tau_{kcl}^{KC} + 1, \dots, Y \cdot T$$

Ingressos per la venta dels productes en trànsit dels centres de distribució a les àrees comercials:

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau_{cl}^{FC}$$

$$\sum_{t=Y \cdot T - \tau_{cl}^{FC}}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (p_{n,Y \cdot T} \cdot \gamma \cdot s_{nclt}^{TFC}) \quad t = \tau_{cl}^{FC} + 1, \dots, Y \cdot T$$

Ingressos per la venta dels equips de producció:

$$\sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{sd=1}^{TD} (SM_{i,sd}^{MFH} \cdot Z_{i,TD,sd}^{MC})$$

Ingressos per la venta de les ampliacions al magatzem:

$$\sum_{sd=1}^{TD} (SM_{sd}^{WMC FH} \cdot Z_{TD,sd}^{MC}) + \sum_{k=1}^K \sum_{sd=1}^{TD} (SM_{k,sd}^{WCD FH} \cdot Z_{k,TD,sd}^{WCD})$$

Ingressos per venta dels transports:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{sd=1}^{TD} (ST_{l,sd}^{FH} \cdot Z_{l,TD,sd}^T)$$

Pagaments degut als costos variables dels últims r^p períodes:

$$\sum_{t=Y \cdot T - \tau^p + 1}^{Y \cdot T} \sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{n=1}^N cv_{ni}^M \cdot q_{nit} + \sum_{t=Y \cdot T - \tau^p + 1}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N cv_n^{WMC} \cdot s_{nt}^{MC}$$

$$+ \sum_{t=Y \cdot T - \tau^p + 1}^{Y \cdot T} \sum_{n=1}^N cv_{nk}^{WCD} \cdot s_{nkt}^{CD}$$

Restricció 20

De la mateixa forma, l'expressió del balanç acumulat (restricció 20), també varia en funció del període t en el que s'estigui. Seguidament es llisten cadascuna de les entrades més rellevants, així com les expressions detallades per a cada període t :

Balanç de períodes:

$$h_0 \quad t = 1$$

$$h_{t-1}^+ - h_{t-1}^- \quad t = 2, \dots, Y \cdot T$$

Ingressos per venda de productes a $t-\tau$:

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau^s$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C p_{n,t-\tau^s} \cdot d_{nc,t-\tau^s} \cdot (a_{nc,td-\tau^s} - b_{nc,td-\tau^s}) \quad td = \tau^s + 1, \dots, TD$$

Ingressos per venda d'equipaments de producció:

$$0 \quad t = 1$$

$$\sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{sd=1}^{td-1} S_{i,td,sd}^M \cdot (Z_{i,td-1,sd}^M - Z_{i,td,sd}^M) \quad t = 2, \dots, Y \cdot T$$

Ingressos per venda d'ampliacions de magatzem al magatzem central:

$$0 \quad t = 1$$

$$\sum_{sd=1}^{td-1} S_{td,sd}^{WMC} \cdot (Z_{td-1,sd}^{WMC} - Z_{td,sd}^{WMC}) \quad t = 2, \dots, Y \cdot T$$

Ingressos per venda d'ampliacions de magatzem al magatzem central:

$$0 \quad t = 1$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{sd=1}^{td-1} S_{k,td,sd}^{WCD} \cdot (Z_{k,td-1,sd}^{WCD} - Z_{k,td,sd}^{WCD}) \quad t = 2, \dots, Y \cdot T$$

Ingressos per venda de transports:

$$0 \quad t = 1$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{sd=1}^{td-1} S_{l,td,sd}^T \cdot (Z_{l,td-1,sd}^T - Z_{l,td,sd}^T) \quad t = 2, \dots, Y \cdot T$$

Cost variables de fabricació.

$$0 \quad t = 1$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{\vartheta_M} cv_{ni}^M \cdot q_{ni,t-\tau^p} \quad t = 2, \dots, Y \cdot T$$

Cost variables de magatzematge d'un producte n en el magatzem central per unitat de temps t .

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau^S$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K cv_n^{WMC} \cdot S_{n,t-\tau^p}^{MC} \quad t = \tau^p + 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost variables de magatzematge d'un producte n en els centres de distribució k per unitat de temps t .

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau^S$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K cv_{nk}^{WCD} \cdot S_{nk,t-\tau^p}^{CD} \quad t = \tau^p + 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost fix de fabricació

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau^S$$

$$\sum_{i=1}^{\vartheta_M} \sum_{sd=1}^{td} (CF_{i,td,sd}^M \cdot Z_{i,td,sd}^M) \quad t = \tau^p + 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost fix de magatzematge en el magatzem central:

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau^S$$

$$\sum_{sd=1}^{td} (CF_{td,sd}^{WMC} \cdot Z_{td,sd}^{WMC}) \quad t = \tau^p + 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost fix de magatzematge als centres de distribució:

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau^p$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{sd=1}^{td} (CF_{k,td,sd}^{WCD} \cdot Z_{k,td,sd}^{WCD}) \quad t = \tau^p + 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost fix de transportar:

$$0 \quad t = 1, \dots, \tau^p$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{sd=1}^{td} (CF_{l,td,sd}^T \cdot Z_{l,td,sd}^T) \quad t = \tau^p + 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost variable de transportar:

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (cv_{nkl}^{TMCK} \cdot s_{nkl}^{TFK}) - \sum_{n=1}^N \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (cv_{ncl}^{TMCC} \cdot s_{ncl}^{TFC}) \\
& - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L (cv_{nkl}^{TKC} \cdot s_{nkl}^{TKC})
\end{aligned} \quad t = 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost d'utilitzar els mitjans de transport.

$$\begin{aligned}
& \sum_{l=1}^L CT_{lt}^{TRANS} \cdot \left(\sum_{k=1}^K X_{klt}^{TFK} + \sum_{c=1}^C X_{clt}^{TFC} + \sum_{k=1}^K X_{klt}^{TKF} + \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C X_{kclt}^{TKC} \right. \\
& \left. + \sum_{c=1}^C X_{clt}^{TCF} + \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^C X_{kclt}^{TCK} \right)
\end{aligned} \quad t = 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost d'emmagatzemar transport en els diferents centres.

$$\sum_{l=1}^L (CT_l^{WMC} \cdot s_{lt}^{LMC}), \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (CT_{kl}^{WCD} \cdot s_{klt}^{LCD}) \quad t = 1, \dots, Y \cdot T$$

Cost per compra d'equipament de producció:

$$\sum_{i=1}^{\vartheta_M} (I_i^M \cdot Z_{i,td,td}^M)$$

Cost per compra d'ampliacions de magatzem al magatzem central:

$$(I^{WMC} \cdot Z_{td,td}^{WMC})$$

Cost per compra d'ampliacions de magatzem dels centres de distribució:

$$\sum_{k=1}^K (I_k^{WCD} \cdot Z_{k,td,td}^{WCD})$$

Cost per l'adquisició de transports:

$$\sum_{l=1}^L (I_l^T \cdot Z_{l,td,td}^T)$$

6. Implementació i creació d'escenaris

Dissenyat el model, el següent pas correspon a la seva implementació a un software per a la seva utilització. En aquest cas s'ha implementat el model en OPL en un PC Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU @2,26GHz i memòria RAM 4,00 GB. Aquesta implementació, per si sola no fa res, i per a que funcioni es necessària que se l'hi introdueixin tots els paràmetres que requereix. És per aquests motius que, per tal de provar que l'implementació funciona correctament, ha estat necessària la creació de possibles escenaris ficticis (representats per els paràmetres que s'introdueixen). Per aquesta raó s'ha elaborat un programa de creació de dades paral·lel al model en OPL, que actua com a proveïdor de possibles situacions que caldria optimitzar.

Cal diferenciar, doncs, els dos processos, ja que una cosa correspon a l'implementació del model i l'altra la creació de dades per a la prova d'aquest. Val a dir que en els dos casos el desenvolupament creat a cada software ha estat realitzat pel tutor del projecte, i que l'adaptació final amb els retocs pertinents, i l'execució i provatures ha estat a càrrec propi.

6.1. Implementació del model en ILOG

Existeixen molts llenguatges de modelat per a problemes de programació matemàtica, però en aquest cas concret s'ha utilitzat l'OPL (Optimization Programming Language) que fa ús del CPLEX com a motor de resolució matemàtica. L'entorn en el que s'ha desenvolupat l'OPL és el IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, que és un software de resolució de programes d'optimització de sistemes, entre d'altres utilitats.

La tasca que es desenvolupa un cop arribat aquest moment és la traducció del model tal i com està escrit al llenguatge de programació apte per al CPLEX, amb les pertinents adaptacions que siguin necessàries, en cas que calgui crear variables auxiliars o restriccions auxiliars. El que es busca en el fons és reproduir el model per a que la computadora pugui executar-lo. Al tractar-se d'un programa matemàtic, l'ordinador permet la realització de milers d'iteracions que d'altra forma serien molt costoses, d'aquí la utilitat d'aquests softwares de suport.

Per a més informació respecte al contingut traduït en CPLEX, veure annexos.

6.2. Creació de d'escenaris

Com ja s'ha comentat, per verificar que el model funciona correctament ha estat necessària la creació de possibles escenaris per testar-lo. Degut a la quantitat de dades conegudes que

es necessiten entrar, s'ha creat un programa de generació de dades. Aquest, ha estat implementat amb llenguatge JAVA utilitzant el software ECLIPSE.

La finalitat d'aquest suport era que, proporcionant les dades més rellevants del cas que es volgués estudiar, el programa fos capaç de generar-ne la totalitat de les dades que es necessiten per realitzar la provatura del model. Per tal que s'entengui millor el funcionament que es realitza amb l'ECLIPSE s'exposa un exemple: Es suposa que s'està estudiant el cas d'un producte com l'aigua, i s'interpreta que degut a que a l'estiu fa més calor, es tindrà més demanda de producte al llarg dels mesos més calorosos. Per tant, s'interpreta que la corba de demanda de l'aigua tindrà un pic més elevat als mesos referits. Es suposa que la demanda mitjana al llarg de tot l'horitzó és de un valor "x". El procediment que es realitza consisteix en introduir al programa ECLIPSE aquest valor "x" que correspon a la demanda mitjana al llarg de l'any, i mitjançant una funció sinusoidal provoquem que el propi programa, sigui capaç de crear la demanda per a cada període fins a cobrir tot l'horitzó marcat.

En un procés en el que es treballa amb pocs períodes potser no tindria sentit la realització d'aquest programa, però es pretén que aquest model sigui útil per a estudis de 10 o més anys, lo qual provoca que puguin haver més de 3600 períodes.

De la mateixa forma que s'ha creat la demanda, s'han creat també costos variables, costos fixos, preu de venda de producte i totes les dades necessàries que l'implementació del model necessita. Això provoca que no es tracta només d'un paràmetre que pot tindre grans quantitats de valors, sinó que tots ells poden tindre gran quantitat d'informació en funció dels subíndex dels que depenguin.

L'ECLIPSE , per tant, esdevé una eina de gran utilitat ja que ens permet la creació de diferents escenaris de forma molt senzilla. En el supòsit en que es canviés de producte, l'operació seria canviar la funció de creació de demanda en el propi programa per una funció que s'adapti a la corba de demanda del nou producte a estudiar.

Que quedi clar, però, que en aquest projecte s'ha utilitzat el programa per a la creació d'exemples per provar el model que a la fi és el que pot ser útil per a diferents tipus d'empresa. Si es realitzés l'estudi per a casos concrets probablement s'hauria de crear un altre programa específic de creació de dades, o bé introduir-les manualment. En cap cas la creació d'aquets estris de suport han estat l'objectiu del projecte si no que, com es ve dient, són simplement eines utilitzades, necessàries per demostrar el correcte funcionament del model

Als annexos adjunts del projecte es pot veure el contingut desenvolupat en el Eclipse

6.3. Procés seguit per a la provatura del model.

Un cop implementat el model i creat el programa de creació de dades, ja s'està en disposició d'utilitzar el model. El procés seguit és molt mecànic. Simplement consta d'introduir els paràmetres bàsics al programa de creació de dades, per a que aquest creï el possible escenari, per executar-lo en el software on ha estat introduït el model. El procés, per tant, segueix el següent esquema:

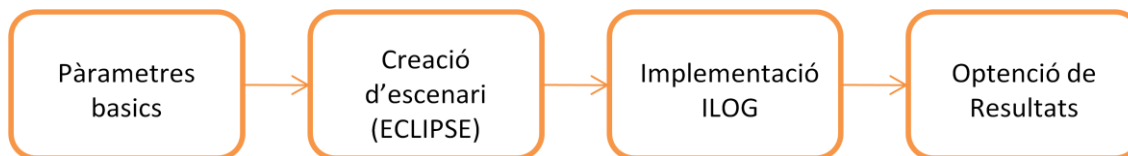


Figura 6.1. Procediment realitzat per a la provatura del model. (Font: elaboració pròpia)

Per a la provatura d'escenaris en aquest projecte, els paràmetres bàsics que s'han utilitzat han estat els següents:

| | |
|---------|--|
| T | Nombre de períodes totals. |
| $Inc-s$ | Nombre de períodes que transcorren entre que es prenen decisions |
| N | Nombre de productes. |
| K | Nombre de centres de distribució. |
| C | Nombre de centres comercials. |
| L | Nombre de tipus de transport. |
| $nu-M$ | Nombre de tipus d'equips de producció. |
| $d0$ | Demanda mitjana del producte. |
| $p0$ | Preu mitja del producte. |
| $gamma$ | $gamma * p0$ correspon al preu de liquidació de producte. |
| $tau-s$ | Períodes entre la venda de producte i cobraments. |
| $tau-p$ | Períodes entre la despeses (costos variables) i pagaments. |
| $cap-M$ | Capacitat en u.p. de producció que s'obtenen per la compra de un equip de producció. |
| $cap-W$ | Capacitat en u.p. de magatzematge que s'obtenen per la compra de magatzem. |
| $cap-P$ | Capacitat en u.p. de que s'obtenen per la compra de transport. |
| $I-M$ | Valor de l'adquisició de producció. |
| $I-W$ | Valor de l'adquisició de magatzem. |

$I-T$ Valor de l'adquisició de transport.

$h0$ Balanç inicial.

De la introducció d'aquests paràmetres bàsics s'obtenen mitjançant l'ECLIPSE la totalitat dels valors que es precisen que estan directament lligats al paràmetre introduït. La resta de paràmetres necessaris que no són resultat directe d'un dels introduïts també es creen directament des de l'ECLIPSE (en aquest cas de forma interna), ja sigui relacionant-los amb els bàsics o assignant-los un valor concret.

Com es pot comprovar ,sols estem assignant un valor a paràmetres que segons el número de productes, magatzems, transports,..., que hi hagin, en requeririen de més. Aquestes dades es creen des del programa de forma aleatòria-controlada per tal de diversificar l'estudi, de forma que si tenim més d'un producte, es crea un altre demanda (per exemple la meitat de la del primer) amb una altra corba, i es crea un altra capacitat de producció per aquest producte,etc...Cal assenyalar que no s'està estudiant cap cas concret, sinó que el que s'intenta es crear diferents possibles escenaris, i per tant, els valors utilitzats no tenen tanta rellevància.

6.4. Restriccions en l'assignació dels paràmetres

Tot i que en principi els paràmetres són dades que s'haurien de posar de forma aleatòria, cal comentar que aquests han de mantindre una petita cohesió entre ells per tal de crear escenaris reals. D'aquesta forma, es defineix el que es considerarà restriccions en l'assignació de paràmetres, que consistirà en restriccions que els paràmetres han de complir per a que l'estudi tingui sentit. Seguidament es defineixen les diferents restriccions a tindre en conte:

- **Preu de compra en actius > preu de venda d'actius**

$$\text{Preu de compra} > \text{Preu de venda} > \text{Preu de liquidació}$$

El que es pretén es fer negoci amb la venda de producte i no amb la compravenda d'actius, per tant el preu al que es compren els actius mai pot ser inferior al qual es venen, ja que s'interpreta que un actiu perd valor per la seva utilització. Al mateix temps, un cop arribat al final de l'horitzó, el preu de liquidació d'actius ha de ser sempre inferior que el seu preu de venda en període normal.

$$I^M, I^W, I^T > S^M, S^W, S^T > S^{MFH}, S^{WFH}, S^{TFH} \quad (8.1)$$

- **Assegurar que hi hagi marge de benefici.**

$$\text{Preu venda per producte} > \text{costos per producte}$$

El model és capaç de treballar amb gran varietat de productes i no és necessari que tots tinguin benefici per a l'empresa. De fet el model està dissenyat per a que indiqui quins mercats obrir per a cada producte i quins no en funció del benefici que se n'extregui. En principi, si cap dels productes dona benefici en cap de les possibles àrees de demanda, tenint en compte tots els costos del model, la solució que s'obtindria seria no fer res. Per a que l'anàlisi de possibles escenaris tingui sentit, és interessant que almenys un d'aquets productes tingui benefici.

$$p \geq \frac{\text{costos fixos}}{\text{capacitats}} + \text{costos variables} + \frac{\text{inversions}}{\text{tota la producció}} + \text{altres costos} \quad (8.2)$$

- **Control de la liquidació**

Tal i com s'ha definit l'entorn del model, al final de l'horitzó es realitza una liquidació de tot el producte en estoc i en curs, i una liquidació de tots els actius que disposa l'empresa. L'objectiu d'aquesta operació es obtindre el benefici que correspongui pel tancament de l'empresa. Per una banda amb una de les restriccions ja realitzades s'assegura que no es realitzi beneficis amb la compraventa d'actiu, però per un altre costat cal limitar la venda de producte a final d'horitzó. Per a que s'entengui, segons quin sigui el preu de liquidació de producte en estoc o en trànsit el model seria capaç de generar molt producte per tal de treure'n benefici d'aquesta liquidació. Aquesta liquidació a priori es podria considerar mig falsa, primer perquè es produiria molt sense conèixer la demanda a preu de liquidació, i segon, perquè com ja s'ha comentat, no té sentit produir per treure benefici en la liquidació de producte, el que es pretén es liquidar el ja produït. De totes formes aquest segon cas cal valorar-lo perquè es podria relacionar amb ofertes del tipus "outlet", en que tot i rebaixar molt el preu dels producte encara es segueix obtenint un benefici. Aquest és un tema complicat que possiblement requeriria d'un estudi propi apart, però com aquest no és l'objectiu del projecte en aquest apartat sols s'especifica on es trobarien els salts que produirien passar d'un tipus de liquidació a un altre.

En aquest projecte la producció de producte és unitària, i es poden produir el número de productes que es requereixen. Això provoca que al tractar-se d'un model d'optimització, sempre es produeixi estrictament el necessari per cobrir la demanda. Això delimita dues zones clarament diferenciades en la liquidació de producte.

1. Es produeix estrictament el necessari.

Es defineix el preu de liquidació com $p \cdot \gamma$, on p és el preu al que es ven el producte normalment i γ és el factor que delimita la rebaixa que es produeix. La primera zona es clara, com no surt a compte produir per vendre sense benefici, el programa produirà estrictament el necessari i no hi haurà liquidació de producte. En cas en que es produís per paquets de producte, llavors si que quedaria el restant.

$$p \cdot \gamma \leq \frac{\text{costos fixos}}{\text{capacitats}} + \text{costos variables} + \frac{\text{inversions}}{\text{tota la producció}} + \text{altres costos} \quad (8.3)$$

Aquesta és una zona que circularà entre $\gamma = 0$ i el valor màxim de γ que faci complir l'equació 8.3 (dependrà dels valors atorgats als paràmetres en cada estudi que es produeixi)

2. Es produeix producte per treure benefici en la seva liquidació.

La segona zona és la que dóna més joc, es produirà per guanyar més, però aquesta producció pot estar limitada o il·limitada. En ambdues es clar que:

$$p \cdot \gamma \geq \frac{\text{costos fixos}}{\text{capacitats}} + \text{costos variables} + \frac{\text{inversions}}{\text{tota la producció}} + \text{altres costos} \quad (8.4)$$

El que falta conèixer és si els beneficis produïts per la liquidació de producte compensen la inversió en més actius. Per a que això no passi és necessari que es compleixi que:

$$\left(p \cdot \gamma - \frac{\text{costos fixos}}{\text{capacitats}} \right) \cdot \left(M + \text{Capacitat Max} \left[\text{relació} \frac{\text{inversions}}{\text{capacitat}} \right] \right) \leq I^M + I \text{Max} \left[\text{relació} \frac{\text{inversions}}{\text{capacitat}} \right] \quad (8.5)$$

La raó que limita el guany és, doncs, el cost d'adquisició d'actius. Si es complís 8.5 el model únicament ompliria els magatzems i/o transports al màxim per liquidar després aquest producte. En cas contrari, el model donaria com a solució infinit, ja que el guany que se'n trauria per les vendes de liquidació de producte compensaria l' inversió en nous magatzems o transports per emmagatzemar-los. En aquesta última equació els paràmetres d'emmagatzematge i transports apareixen un com alternativa del altre ja que, al comportar-se tots dos com elements de magatzem (encara que el transport sigui per transportar, un com arribat a final de horitzó es comporta com un element de magatzem de material), el que millor rendibilitat tingui cost/capacitat seria el que s'utilitzaria.

El control de liquidació queda clar que queda en funció de la γ , que és el paràmetre que controla el descompte a realitzar en la liquidació. Totes les equacions que s'han utilitzat per a descriure els diferents casos que es poden donar (8.3 – 8.5), són merament conceptuals que encaminen al que hauria de succeir aproximadament per que es produís cada cas. Sobretot que no és considerin com equacions exactes perquè no ho són, ja que cada escenari s'hauria d'estudiar per separat.

En aquest projecte, i pel que fa al control de la liquidació de producte, al treballar amb producció unitària s'han buscat escenaris que compleixin únicament l'equació 8.3, no

obstant, també hauria pogut ser útil valorar escenaris restringits per qualsevol de les altres. Aquesta és tant sols una de les múltiples opcions de limitar el contorn de l'estudi, en podrien haver d'altres com treballar amb producció per paquets o mantindre la producció com si s'hagués d'abastir una demanda que segueix la que ja es venia servint. Simplement s'hauria de retocar mínimament el model per adaptar-lo al nou cas d'estudi.

7. Resolució, anàlisi de funcionament i mostra d'aplicacions

El model ha estat analitzat des de diferents perspectives per verificar el funcionament del programa matemàtic en diferents escenaris de negocis possibles. La possibilitats d'estudi en aquest punt són infinites i per tal de simplificar-les, s'ha optat per la realització de varis tipus d'estudi que s'han considerat suficientment representatius per l'anàlisi del funcionament del model.

Aprofitant els diferents estudis que es realitzen, s'intenta mostrar també les diverses propietats que el model és capaç d'oferir, per tant, el procés seguit seria demostrar que el model funciona en cada cas, al mateix temps que es demostren les diferents particularitats que té. Cal tindre molt present que l'objectiu amb el que està definit el model sempre és maximitzar el balanç de caixa a final d'horitzó, i que tots els resultats que s'obtinguin buscaran aquest objectiu. Això provoca que en molts casos, la representació del que es busca a l'estudi no quedi ben exposada degut a que actuen moltes altres variables externes amb un objectiu comú diferent del que pretén representar l'estudi. Dit d'una altra forma, en cada cas s'intenta mostrar informació que el model és capaç d'oferir. Informació, però, que pot estar condicionada per altres variables, que actuen amb el fi de buscar l'òptim comú. Més endavant, quan es realitzi cada estudi per separat s'aprofunditzarà més en aquest aspecte.

El procediment que es segueix en cada escenari resolt és el següent:

- Descripció del l'estudi.
- Presentació dels paràmetres més rellevants.
- Anàlisi de resultats.

Per tal de no complicar molt la resolució del model s'ha optat per treballar amb una base de paràmetres que s'aniran utilitzant en tots els escenaris que s'executin. Així, totes les provatures que es realitzen tenen el mateix patró, i l'única cosa que canviarà de una provatura a un altre serà el número de components del sistema (número de maquinària de producció, productes, centres de distribució, àrees comercials,...). Aquests canvis seran indicats al inici de cada estudi que es vol realitzar i vindran condicionats per tal de poder mostrar més visualment alguna de les característiques del model, les quals també seran indicades i explicades prèviament. Aquestes característiques que es vol mostrar a l'execució dels escenaris són:

- Planificació de capacitats enfront diferents tipus de demanda.
- Renovació d'equips.

- Anàlisi de mercats.
- Localització de centres de distribució.
- Control de la flota de transports.

En tots els escenaris s'ha definit com a paràmetres més rellevants: un horitzó de 10 anys, amb 12 períodes en cada un que representen els mesos de l'any, presa de decisions cada trimestre de l'any, 1 producte a manufacturar, 1 tipus d'equipament de producció, 1 centres de distribució, 2 àrees comercials, i 1 tipus de transport. El que s'intenta és crear una possible situació no molt complicada, que ens pugui donar una bona visió del comportament del model i que no generi infinitats de variables i restriccions,. Un cop definits els paràmetres més rellevants sols queda definir els altres paràmetres els quals es mostren a la Taula 7.1. L'elecció d'aquests paràmetres ha estat de forma aleatòria però de manera que seguissin una lògica real

| | | | | | |
|---------------|---------|----------------|----------------|-----------------|-----------|
| <i>T</i> | 120 | <i>cap-W</i> | 100 | <i>CF_T</i> | 5+0,2*tri |
| <i>TD</i> | 40 | <i>cap-T</i> | 4 | <i>cv_M</i> | 5 |
| <i>N</i> | 1 | <i>I-M</i> | 6000 | <i>cv_WMC</i> | 1 |
| <i>K</i> | 1 | <i>I-W</i> | 3000 | <i>cv_WCD</i> | 1 |
| <i>C</i> | 2 | <i>I-T</i> | 1000 | <i>cv_TMCK</i> | [2] |
| <i>L</i> | 1 | <i>S_M</i> | 3000-0,05%*tri | <i>cv_TMCC</i> | [2] [2] |
| <i>nu-M</i> | 1 | <i>S_MFH</i> | 600 | <i>cv_TKC</i> | [2] [2] |
| <i>d0</i> | 50 | <i>S_WMC</i> | 1500-0,05%*tri | <i>CT_TRANS</i> | 5 |
| <i>p0</i> | 50 | <i>S_WMCFH</i> | 1000 | <i>CT_WMC</i> | 2 |
| <i>gamma</i> | 0,0 | <i>S_WCD</i> | 1500-0,05%*tri | <i>CT_WCD</i> | 2 |
| <i>tau-s</i> | 2 | <i>S_WCDFH</i> | 1000 | <i>h0</i> | 0 |
| <i>tau-FK</i> | [1] | <i>S_T</i> | 500-0,05%*tri | <i>s0_MC</i> | 0 |
| <i>tau-KC</i> | [2] [3] | <i>S_TFH</i> | 100 | <i>s0_CD</i> | 0 |
| <i>tau-FC</i> | [5] [3] | <i>CF_M</i> | 20+1*tri | <i>s0_LMC</i> | 0 |
| <i>tau-p</i> | 2 | <i>CF_WMC</i> | 5 | <i>s0_LCD</i> | 0 |
| <i>cap-M</i> | 10 | <i>CF_WCD</i> | 5 | | |

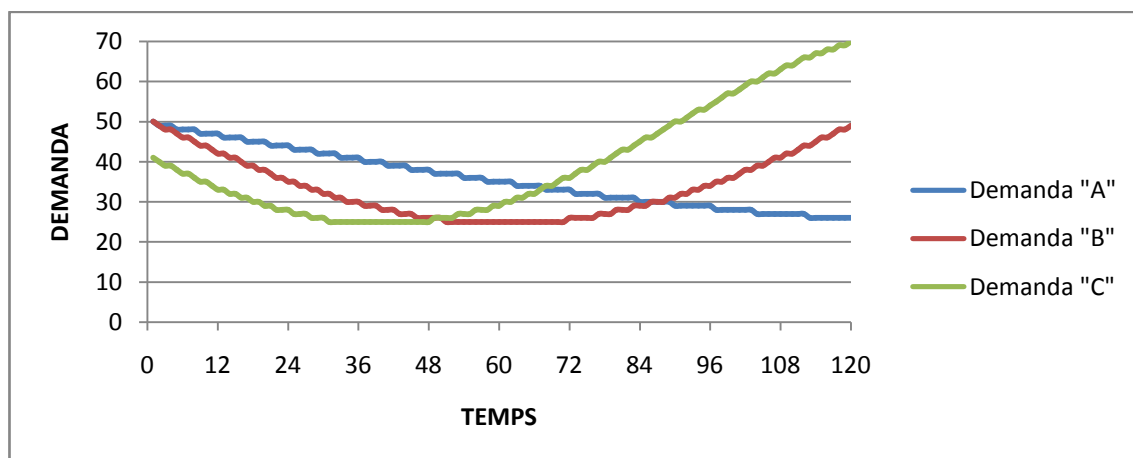
Taula 7.1. Llista completa dels paràmetres utilitzats

La resta de paràmetres que conformen la totalitat de l'informació necessària per a l'execució del model es creen a partir d'aquests valors. Com observacions més importants destacar

que la demanda sempre es calcula a partir de d_0 ; el preu de producte serà sempre de 50 unitats monetàries; és limita el temps en els cobraments i pagaments a 2 períodes; s'ha calculat el preu de les inversions en capacitat de producció pensant en la seva amortització al cap d'un any, i la resta de capacitats en consonància en aquesta, de forma que l'amortització total de les capacitats sigui al voltant de dos anys; les capacitats, un cop adquirides, sols es podran vendre com a màxim a la meitat del seu preu, i progressivament el seu valor anirà disminuint seguint el transcurs del temps fins un valor mínim associat amb el preu de liquidació o de final d'horitzó; els costos de manteniment fixos van augmentant al llarg del temps com a conseqüència de l'envelliment de la maquinària; tant els costos fixos com el cost de transportar estan definits com cost/capacitat, per contra, els costos variable estan definit com a cost/producte; per últim, s'assigna un estoc de 0 a tots els magatzems tant de producte com de transport.

Per altra banda, s'han elaborat tres diferents patrons de demanda que seran utilitzats per a l'anàlisi dels escenaris. S'ha cregut convenient que degut a la situació de recessió econòmica en la que es viu, tots els patrons de demanda parteixen d'una demanda decreixen i evolucionen de forma diferents al llarg del temps. El Gràfic 7.1 mostra els diferents patrons de demanda utilitzats

- DEMANDA "A": corba amb caràcter decreixent al llarg de tot l'horitzó
- DEMANDA "B": corba còncava que presenta una recuperació a meitat d'horitzó
- DEMANDA "C": corba optimista que presenta recuperació a curt termini.



Gràfic 7.1. Patrons de demanda.

Tal i com s'ha comentat al punt anterior els paràmetres deuen de complir una sèrie de restriccions lògiques per assimilar-se a casos reals. A continuació s'avalua que l'estudi escollit compleixi dites restriccions:

8.1 Preu de compra > Preu de venda > Preu de liquidació

- ✓ 8.2 Preu venta per producte > costos per producte.

$$p \geq \frac{\text{costos fixos}}{\text{capacitats}} + \text{costos variables} + \frac{\text{inversions}}{\text{tota la producció}} + \text{altres costos}$$

- ✓ 8.4 control de la liquidació

$$\left(p \cdot \gamma - \frac{\text{costos fixos}}{\text{capacitats}} \right) \cdot \left(M + \text{Capacitat} \cdot \text{Max} \left[\text{relació} \frac{\text{inversions}}{\text{capacitat}} \right] \right) \\ \leq I^M + I \cdot \text{Max} \left[\text{relació} \frac{\text{inversions}}{\text{capacitat}} \right]$$

D'aquesta forma no exacte però sí representativa es demostra que l'exemple és coherent amb la realitat. Com ja s'ha comentat a l' apartat referent a les restriccions (6.4), aquestes són aproximacions per a que el sistema tingui sentit i de que no s'està fent cap incongruència.

7.1. Planificació de capacitats enfront diferents tipus de demanda

En aquest punt el que es vol representar és el comportament del model davant la planificació de capacitats, la qual és una de les principal atraccions de la realització del projecte. Per tal d'aconseguir-ho, el procés que s'executa és la provatura del model davant diferents patrons de demanda proposats, de forma que es pugui analitzar l'evolució al llarg del temps que realitzen les capacitats, i com aquestes s'ajusten a la demanda que s'ha de subministrar.

Indiscutiblement la demanda és una de les peces clau a tot el procés de producció i d'anàlisi de capacitats en gran part de les cadenes d'aprovisionaments. Molts autors defineixen que la demanda, des de un punt de vista de la cadena d'aprovisionaments, es pot definir com la capacitat del mercat d'absorbir un producte. Això demostra que, habitualment, el fet d'abastir la demanda és el que "dirigeix" tot el procés d'aprovisionament. Per això, s'ha cregut oportú la realització d'una prova amb diferents tipus de demanda, que s'adeqüin a distints casos d'evolució de demanda, per tal de valorar el comportament de les capacitats a diversos casos i en conjunt del funcionament del model.

Els tres patrons de demanda que s'utilitzen han de ser provats a un sistema creat aleatòriament. Per tal de no complicar en excés aquest apartat s'utilitzarà el mateix sistema per a tots els casos. El sistema escollit per a l'anàlisi en aquest apartat és el que es mostra a la imatge 7.1. Aquest sistema és avaluat per a cada patró de demanda de forma diferent i considerant que a cada cas les dues àrees comercials tenen la mateixa quantitat de demanda. Per tant, el que es realitzarà són 3 petits sub-estudis amb l'objectiu d'obtenir diferents planificacions de capacitat. Els patrons que s'utilitzaran en aquest punt són els

“A”, “B” i “C” representats al Gràfic 7.1, i els paràmetres utilitzats són els descrits a la Taula 7.1

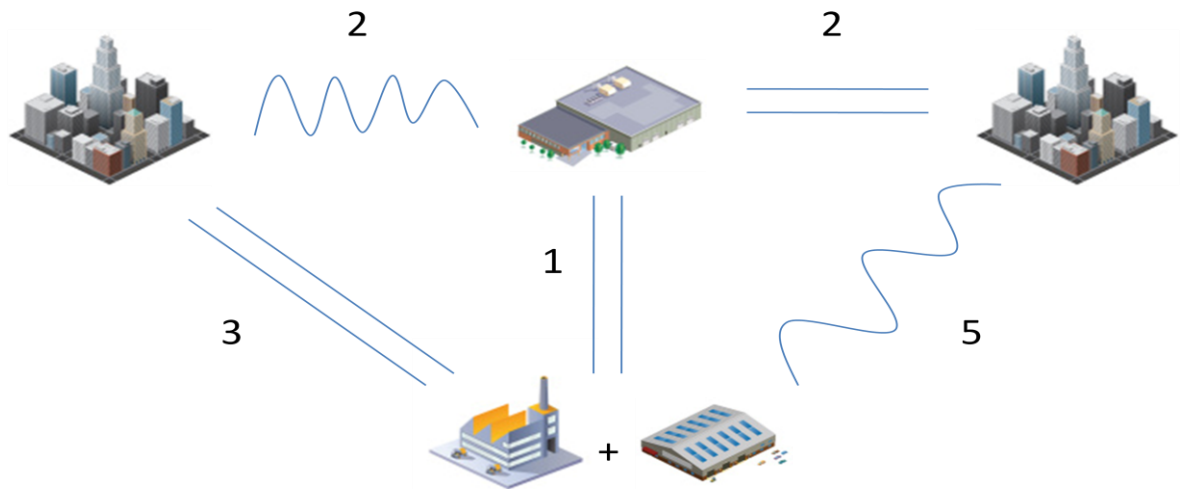


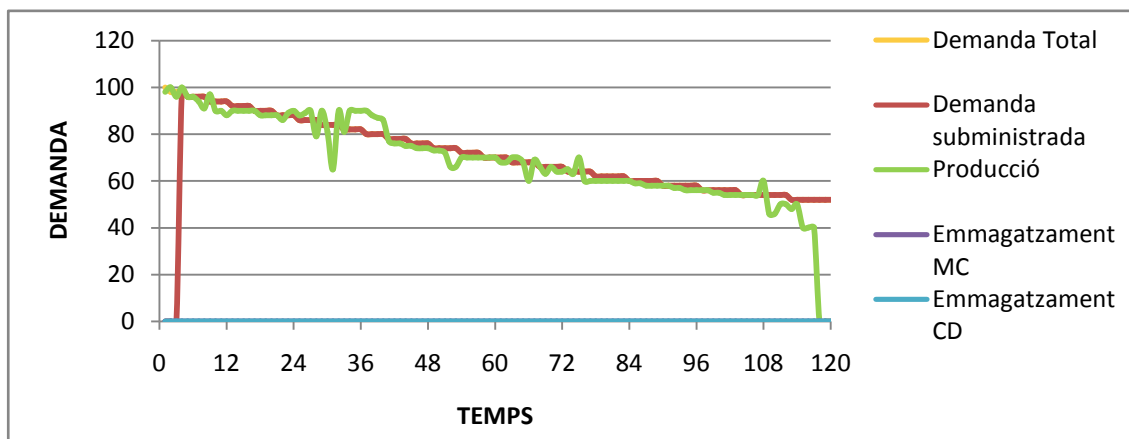
Figura 7.1. Plantejament del estudi de patrons de demanda. (Font: elaboració pròpia)

Anàlisi de resultats

Com ja s'ha comentat, la finalitat de l'estudi recau en valorar la planificació de les capacitats del sistema degut a la compravenda d'aquestes. És per això que sols s'ha tingut en compte, per a la seva avaluació, les variables representatives en aquest aspecte. Aquestes corresponen a les variables definides com a $Z_{_}()$. Per tal de poder valorar els resultats més visualment, des de el Gràfic 7.2 fins el Gràfic 7.7 es representen, respectivament per parelles a cada patró de demanda utilitzat, les quantitats de producte que es produeix, que s'emmagatzema i que es subministra, juntament comparades amb la demanda. D'aquesta forma es pot valorar quan s'utilitza cada capacitat i en conseqüència quan ha estat adquirida i quan venuda.

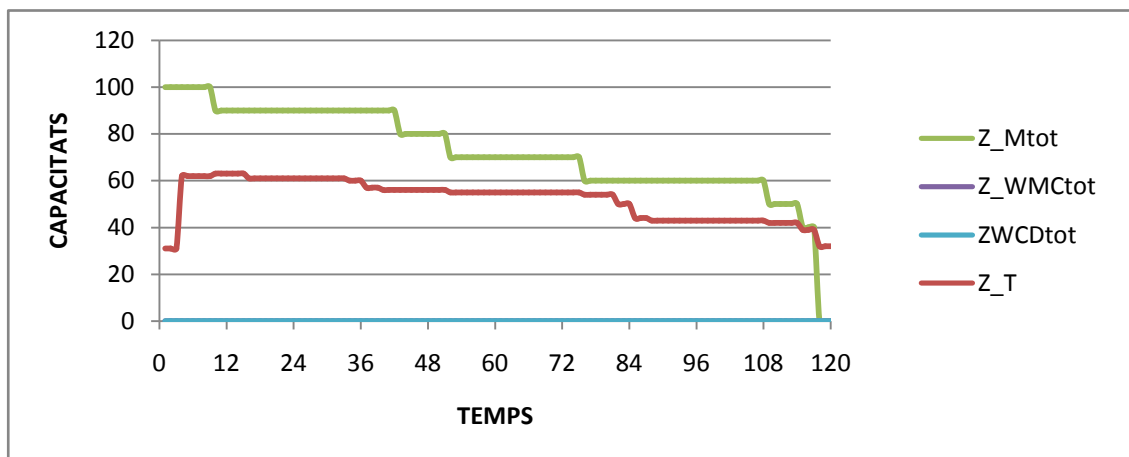
PATRÓ DE DEMANDA “A”

Aquest és un patró que representa una demanda constant decreixent al llarg de l'horitzó, que planteja la continuïtat del clima actual que es viu a la majoria de mercats. El Gràfic 7.2 i el Gràfic 7.3 mostren els resultats obtinguts de l'execució del model utilitzant el patró de demanda “A”.



Gràfic 7.2. Resultats d'executar el model amb el patró de demanda "A"

Al executar aquest escenari la principal observació que es produeix és que al tractar-se d'un anàlisi d'un escenari amb demanda constant decreixent, el model dona com a resultat comprar inicialment tota la capacitat productiva per començar a subministrar el més aviat possible. El model proposa començar d'aquesta forma per a més endavant anar adaptant la capacitat productiva al que es requereixi produir per subministrar la demanda.



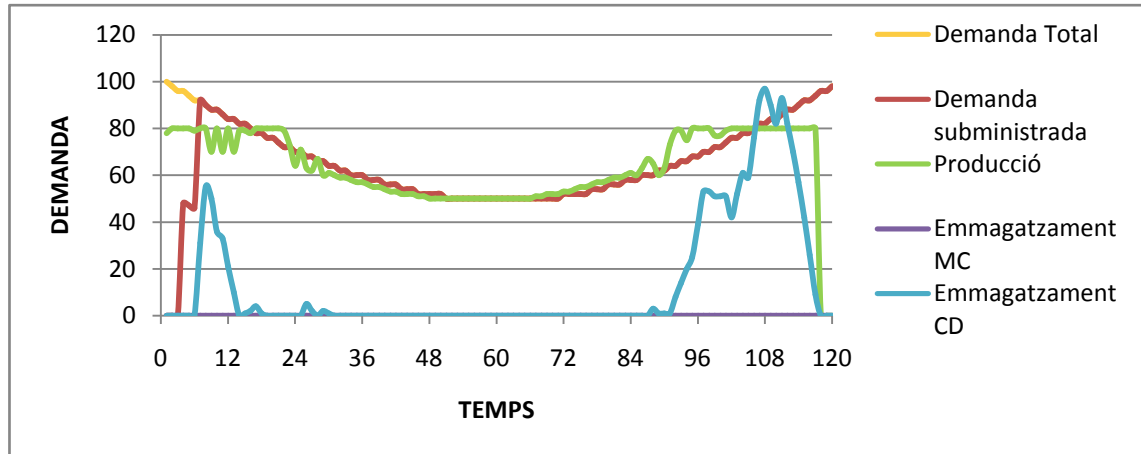
Gràfic 7.3. Evolució de les capacitats amb el patró de demanda "A"

Del Gràfic 7.3 poques conclusions es poden treure. Simplement l'adaptació ja comentada de la capacitat productiva a la corba de demanda, de la mateixa manera que s'adapta també la capacitat de la flota de transports. Ressaltar també el fet que en aquest cas no s'emmagatzema producte en cap moment degut a que en tot moment la demanda decreix, la qual cosa provoca que el model s'ajusti disminuint producció.

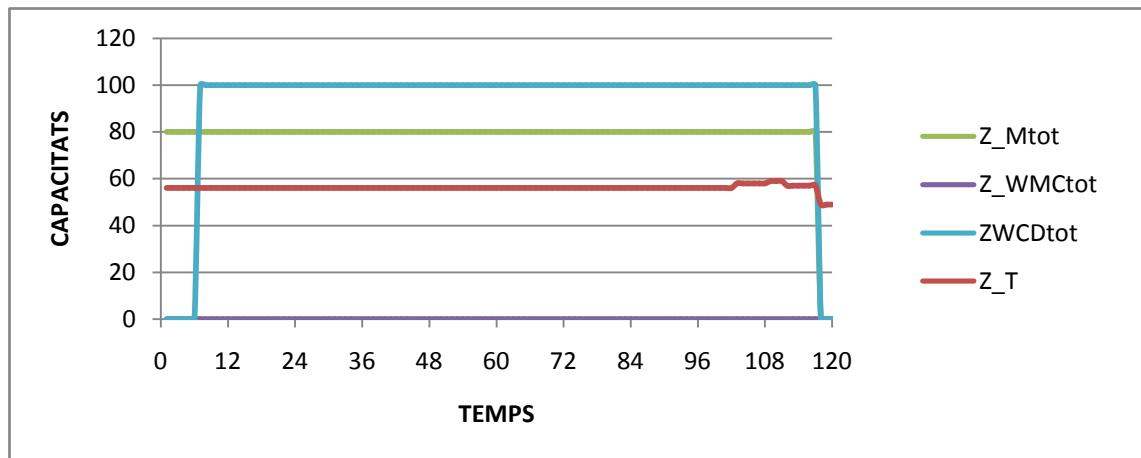
En definitiva es pot considerar que la resposta al plantejament té sentit i que el model ha respost amb la lògica que s'esperava d'ell.

PATRÓ DE DEMANDA “B”

Pel que fa al patró de demanda “B” es passa a tindre un patró al qual es planteja una corba còncava amb una recuperació dels mercats a mig termini. En el Gràfic 7.4 i el Gràfic 7.5 es representa com resol el model aquest canvi en el patró de demanda mantenint la resta de paràmetres constants.



Gràfic 7.4. Resultats d'executar el model amb el patró de demanda “B”



Gràfic 7.5. Evolució de les capacitats amb el patró de demanda “B”

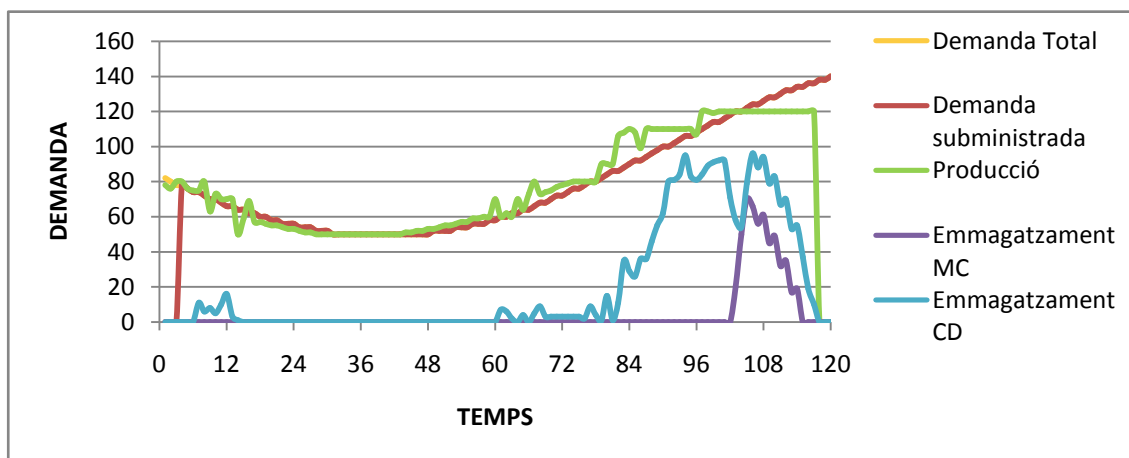
En aquest exemple, al produir-se tant decreixement com creixement, dóna joc per a que es puguin comentar més el resultat que el model proposa. Pel que fa a la producció es veu com s'ajusta perfectament a la corba de demanda excepte a l'inici i al final on de fet és produeix l'emmagatzematge. Resulta prou interessant analitzar aquests punts als quals es produeix estoc. A l'inici, el petit esgrao que es veu a la corba de demanda subministrada denota que es comença abastint primer un mercat, per a que posteriorment, al següent moment de decisió, acabar obrint l'altre mercat. Aquest esgrao que es produeix permet crear estoc, ja

que la capacitat productiva és molt superior a la demanda que subministra en aquest moment. L'anomenat estoc que s'aconsegueix és el que permet obrir el següent mercat abans del que la capacitat productiva permetia, d'aquí el fet que la corba vermella superi la de color verd. Aquest fet es repeteix al final de l'horitzó quan es torna a produir producte aturat al magatzem, estoc que serveix per subministrar la demanda final que la capacitat productiva no és capaç de cobrir.

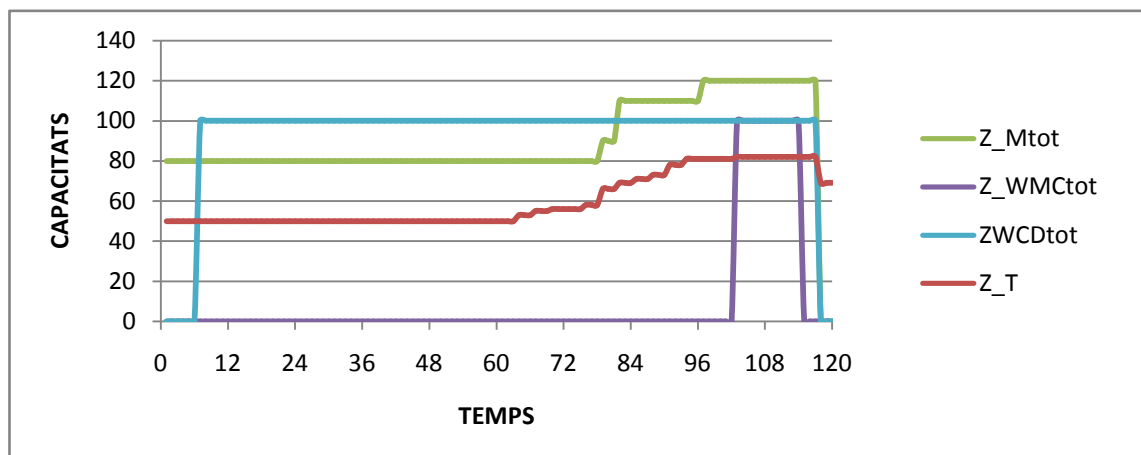
Per altra banda, pel que fa a l'evolució de les diferents capacitats sorprèn que pràcticament totes són constants al llarg del procés. Segurament això es produeix per que a la definició de paràmetres s'ha penalitzat la venda de capacitat fent que com a molt aquesta sigui la meitat del preu de compra de la mateixa, això provoca que no compensi la seva venda sabent que després serà necessari comprar-ne. Aquest supòsit ha estat verificat executant el model definint la liquidació de producte com el 90% del seu valor de compra (veure apartat 7.2).

PATRÓ DE DEMANDA "C"

Amb el patró de demanda "C" es passa a avaluar una demanda que presenta un fort creixement a curt termini. Seguint la línia dels altres dos patrons es mostren els resultats obtinguts a través del Gràfic 7.6 i el Gràfic 7.7



Gràfic 7.6. Resultats d'executar el model amb el patró de demanda "C"



Gràfic 7.7. Evolució de les capacitats amb el patró de demanda "C"

Pel que fa als resultats obtinguts amb aquest patró es torna a reproduir el mateix que succeeix al final del que ha passat al patró "B", en que l'acumulació de producte als magatzems permet compensar la falta de capacitat productiva per poder subministrar tota la demanda. També de la mateixa manera que passa als dos estudis anteriors es comprova com la producció s'ajusta a la corba de demanda menys en els moments en que es produeix una mica més per poder emmagatzemar.

Pel que fa a l'evolució de les capacitats es demostra com, tant la capacitat productiva com la capacitat de distribuir el material, s'expandeixen per tal de compensar la demanda creixent. Però el que més sorprèn en d'aquest resultat és que s'utilitza tant el magatzem central com el magatzem de distribució. L'explicació a aquest fet es podria trobar en que el magatzem central serveix per abastir una de les àrees de demanda i el centre de distribució l'altre, i degut a que al final d'horitzó la corba de demanda augmenta amb força, es requereix de dos centres, donant la casualitat que es col·loquen per separat.

Com a conclusió d'aquest apartat es considera que el model compleix les expectatives per al que s'ha creat. Un dels principals valors del model és oferir planificacions de capacitat, i es creu que a través d'aquests petits sub-estudis s'ha aconseguit demostrar que el model és capaç de donar bons resultats en aquest aspecte. Els exemples tractats són molt puntuals respecte a l'infinitat d'escenaris que es poden plantejar, però el model ha mostrat solucions molt coherents, compaginant la producció amb l'estoc per abastir la demanda i controlant les quantitats de transport necessàries, tenint en compte que l'objectiu és maximitzar el balanç a final d'horitzó. La planificació de capacitats és clau en tot procés d'aprovisionament i una resposta d'aquest estil pot ser molt útil per a diverses empreses manufactureres.

7.2. Expansió i reducció de capacitats (compra-venta)

En aquest punt es valora que el model sigui capaç d'ajustar perfectament les capacitats als requeriments de la demanda. De fet al punt anterior ja s'ha pogut comprovar vagament la resposta del model en aquest sentit, però per a que quedi més clar es procedeix a realitzar aquesta prova.

Per tal d'aconseguir aquest propòsit es modifiquen les penalitzacions que s'apliquen a la venda de capacitats ajustant-les a tant sols el 90% del preu de compra. Es tracta d'una anàlisi que no busca recrear cap escenari real ni obtindre un resultat coherent, sinó que és una prova per al model per valorar com reacciona enfront l'expansió i reducció de capacitats. D'aquí que s'hagi optat per posar aquestes condicions. El patró de demanda que s'ha utilitzat és el "B" ja que en ell es pot donar tant la compra com la venda a un mateix escenari. Es defineixen els paràmetres que canvien a la següent taula:

Paràmetres

| | |
|-------|------|
| N | 1. |
| K | 1. |
| C | 2. |
| L | 1. |
| nu-M | 1. |
| S_M | 5400 |
| S_WMC | 2700 |
| S_WCD | 2700 |
| S_T | 900 |

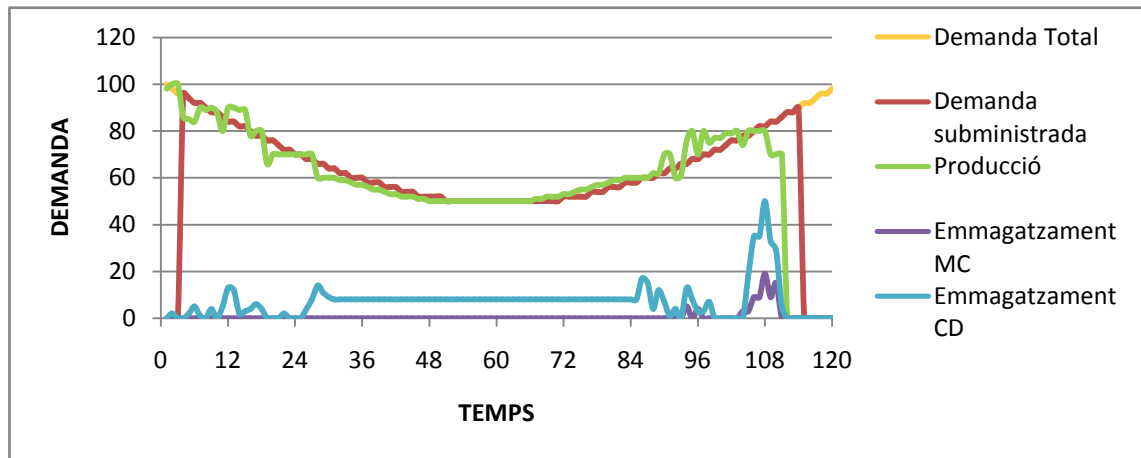
Taula 7.2. Paràmetres més rellevant en l'expansió i reducció d'equips

Anàlisis de resultats

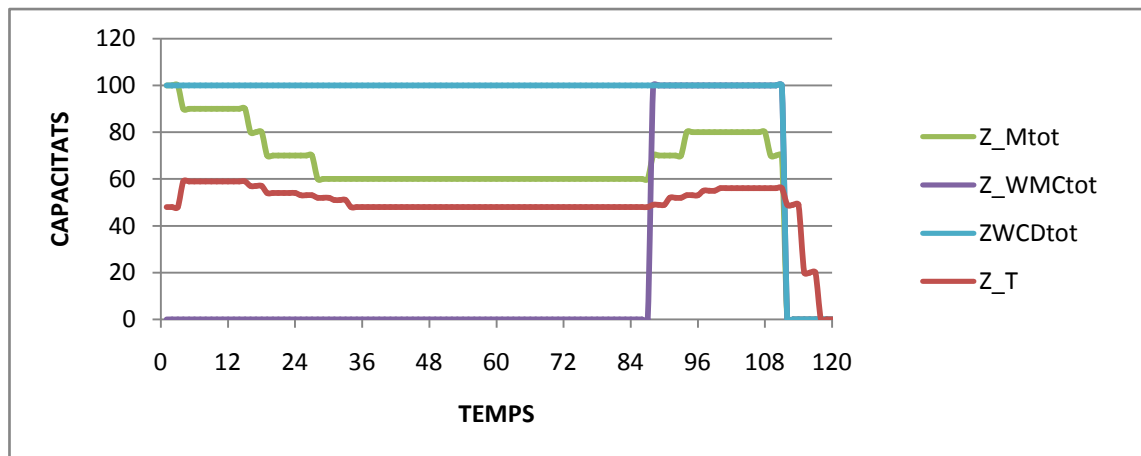
És satisfactori el fet de comprovar la manera en que s'ha adaptat tant la producció com el transport a la corba de demanda i per altra banda, comentar que aquesta adaptació ha provocat que s'hagi de disposar de magatzem des de l'inici per compensar aquests esgraons a la producció.

L'execució d'aquest escenari permet poder comparar dos resultats simplement havent canviat uns paràmetres puntuals (Gràfic 7.4 i Gràfic 7.8, i Gràfic 7.5 i Gràfic 7.9), i resalta com petits canvis donen resultats diferents.

El Gràfic 7.8 i Gràfic 7.9 ensenyen els resultats obtinguts:



Gràfic 7.8. Resultat del escenari d'expansió i reducció de capacitats



Gràfic 7.9. Evolució de les capacitats en l'escenari d'expansió i reducció de capacitats

7.3. Anàlisi de mercats

En aquest assaig d'escenari, el que es pretén és posar a prova el fet que el model es capaç de decidir si és convenient o no entrar a un mercat, o si sortir-ne. La finalitat de l'estudi és que el model sigui capaç de decidir quins mercats són els més convenient per a una empresa de cara a obtenir un benefici econòmic òptim al final de l'horitzó, i en aquest sentit, indicar en quin moment es produirien les "entrades" al mercat i en quan s'hauria de deixar d'abastir.

Com a principals puntualitzacions d'aquest estudi, cal recordar que no es planteja que el fet de no subministrar a un mercat pot suposar una variació a la corba de demanda de producte d'aquest. Aquest tipus d'aspectes, com ja s'ha plantejat, queden fóra de l'àmbit del projecte i

per tant simplement es valora que les demandes són les que són, es treballi als mercats o no. També cal tindre present que inicialment no es treballa amb cap mercat, i el model pot decidir amb quins començar. Com a contrapartida un cop s'abandona un ja mai es pot tornar a satisfer, fet que suposa un handicap a la planificació.

Per tal de simplificar el càlcul s'han utilitzat els mateixos paràmetres descrits a la Taula 7.1, però igual s'hagués pogut fer per qualsevol altres. D'igual forma, també s'han utilitzat els mateixos patrons de demanda que anteriorment, "A", "B" i "C" representats en el Gràfic 7.1. En aquest cas com el que es necessita són varies àrees comercials s'ha optat per introduir 3 àrees amb diferents demandes a cada una, i per simplificar els càlculs s'ha optat per no introduir cap tipus de centre de distribució de forma que el producte circularà directe de fàbrica a les àrees comercials. Per tant, seguidament s'exposen els paràmetres més rellevants que s'usaran en aquest estudi i que varien dels inicials:

Paràmetres

K 0.

C 3.

τ_{u-FC} [3] [3] [3] [3]

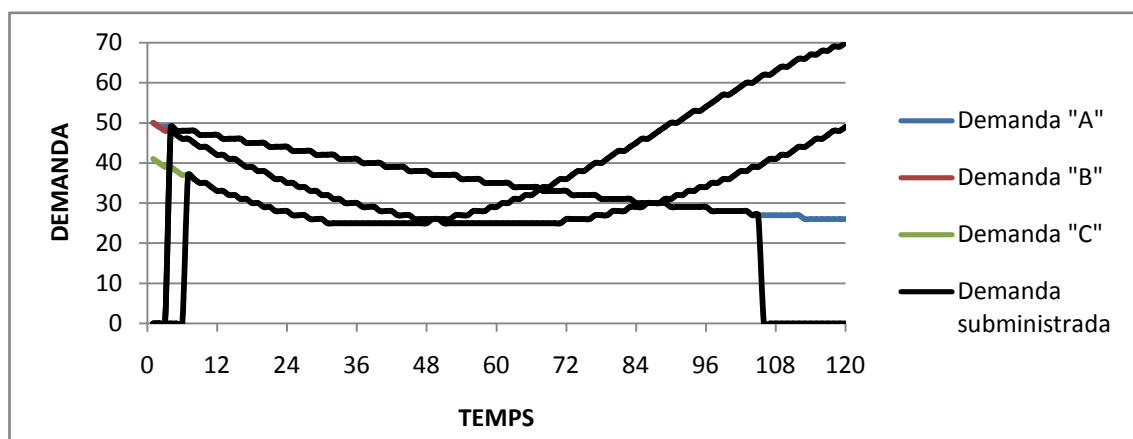
Resta de paràmetres igual que a la Taula 7.1

Taula 7.3. Paràmetres mes rellevants del estudi d'anàlisi de mercats

Al disposar de 3 patrons i de 3 àrees comercials, com totes les àrees estan a la mateixa distància de la fàbrica, és indiferent quin patró s'ha assignat a cada àrea

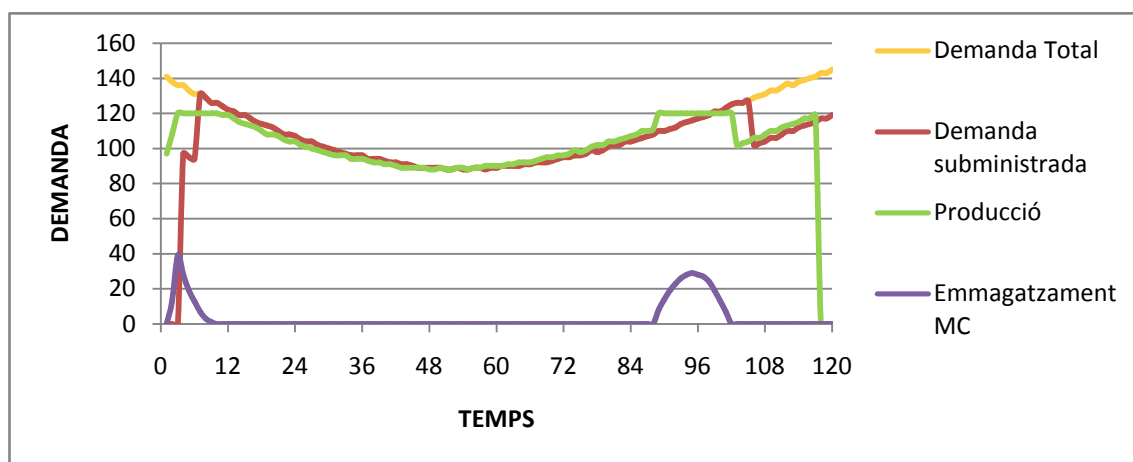
Anàlisi de resultats

Com el que es tracta en aquest estudi és de comprovar l'obertura i tancament de mercats s'ha donat especial importància als resultats obtinguts en les variables booleanes "a" i "b", que són les que fan referència a aquest aspecte. Amb l' intenció que els resultats siguin més visuals es mostra al Gràfic 7.10 les demandes que el model indica que s'hauran de subministrar, i en quin moment s'hauria de produir aquest subministrament.



Gràfic 7.10. Demanda Subministrada en l'anàlisi de mercats

El moment en que la corba passa a tindre un color negre és el moment en que es comença a abastir aquell mercat. De la mateixa forma que, en el moment en que s'acaba el color negre de la corba significa que s'ha abandonat aquell mercat. Evidentment sols pot haver una part negra en cada corba perquè sols es pot entrar i sortir de cada mercat un cop. Al Gràfic 7.11 es representen els resultats obtinguts comparant la demanda total amb la que es subministra.



Gràfic 7.11. Resultat d'executar el escenari per l'anàlisi de mercats.

Els diferents salts a la demanda subministrada indiquen els moments en que es produeix l'entrada o sortida de mercats. Aquests fets estan condicionats per la màxima producció possible de la que es disposa, i de l'estoc del que es disposa.

Queda clar, doncs, que en tot moment el model optimitza els mercats per tal de traure'n el màxim rendiment, i en conseqüència es demostra que el model també és útil per a escenaris en que es vulgui decidir en quins mercats és millor treballar. Per tant, es conclou que el

model compleix les expectatives que es buscaven i pot ser útil per a empreses amb intenció d'obrir-se a nous mercats.

7.4. Localització de centres de distribució

Arribats a aquest apartat es passa a comprovar com el model resol el problema de localització òptima d'un centre de distribució. Aquesta localització vindrà delimitada per la posició que minimitzi els costos de distribució. Per a la realització d'aquest estudi, serà necessari la creació de diferents possibles localitzacions on es voldria invertir per crear un nou centre de distribució per a l'empresa. Aquesta eina podria resultar molt útil per a empreses que volen obrir-se a nous conjunts de mercats que queden allunyats del punt on es troba la fàbrica. El plantejament de l'estudi és molt simple, només cal introduir els diferents mercats que es pretenen abastir i les diferents localitzacions on és preveu invertir per a la creació d'un centre de distribució. Aquell centre que hagi estat utilitzat a la solució del model seria aquell interessant on invertir.

Per tal de demostrar aquesta propietat del model, el cas que s'estudiarà és el del sistema representat en la Figura 7.2.

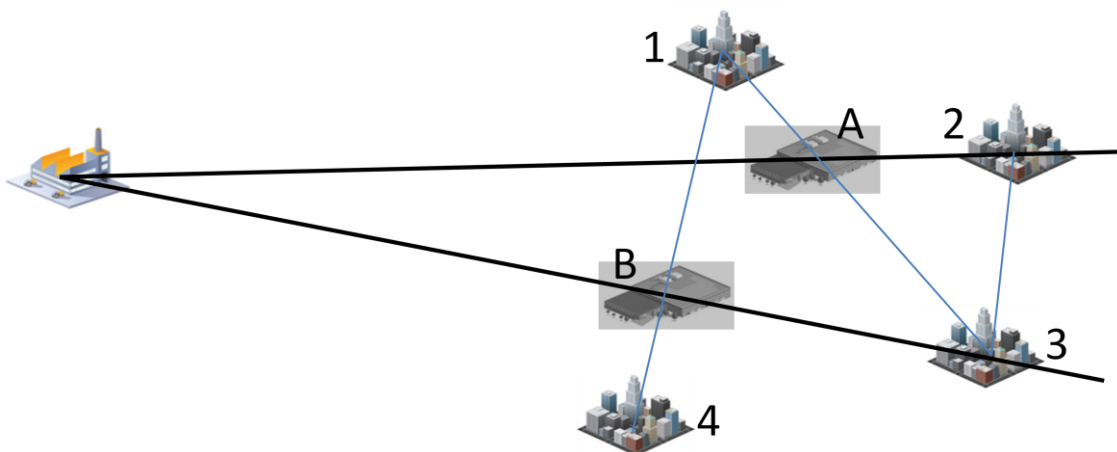


Figura 7.2. Esquema del sistema estudiat en la localització de un CD. (Font: elaboració pròpia)

En aquest sistema es defineix: 1 centre de producció, 4 possibles àrees comercials a abastir i 2 possibles centres de distribució que es consideren útils assenyalats amb les lletres "A" i "B". L'objectiu serà buscar quin d'aquests centres és més útil per a l'empresa, tenint en compte que el que es busca és optimitzar la balança de caixa. Donat el funcionament del model, tant podria ser que fos útil cap, un, o fins i tot, en alguns casos concrets, els dos. La diferència entre un cas o un altre romandrà en la utilitat que tingui cada centre de distribució.

Per a la creació d'aquest escenari s'ha utilitzat el patró de demanda "C", representat al Gràfic 7.1, amb la peculiaritat que en cada àrea s'ha disminuït, per ordre, 5 unitats de

producte a la demanda mitjana a partir de la que es construeix tota la resta. Aquesta modificació només es realitza per visualitzar més còmodament quins són els mercats abastits i quins no. També s'ha modificat les distàncies entre fàbrica i possibles centres de distribució, centres i àrees comercials, i entre fàbrica i àrees, per tal d'adaptar-les al sistema descrit. A la següent taula s'indiquen les diferències introduïdes:

Paràmetres

| | |
|----------------------|--|
| K | 2. |
| C | 4. |
| $d0 \text{ centre1}$ | 50 |
| $d0 \text{ centre2}$ | 45 |
| $d0 \text{ centre3}$ | 40 |
| $d0 \text{ centre4}$ | 35 |
| $\tau\text{-FK}$ | [[3][3]] |
| $\tau\text{-KC}$ | [[[1][1][2][3]][[2][3][2][1]]] |
| $\tau\text{-FC}$ | [[5][6][6][5]] |

Resta de paràmetres igual que a la Taula 7.1

Taula 7.4. Paràmetres més rellevants de la localització de centres

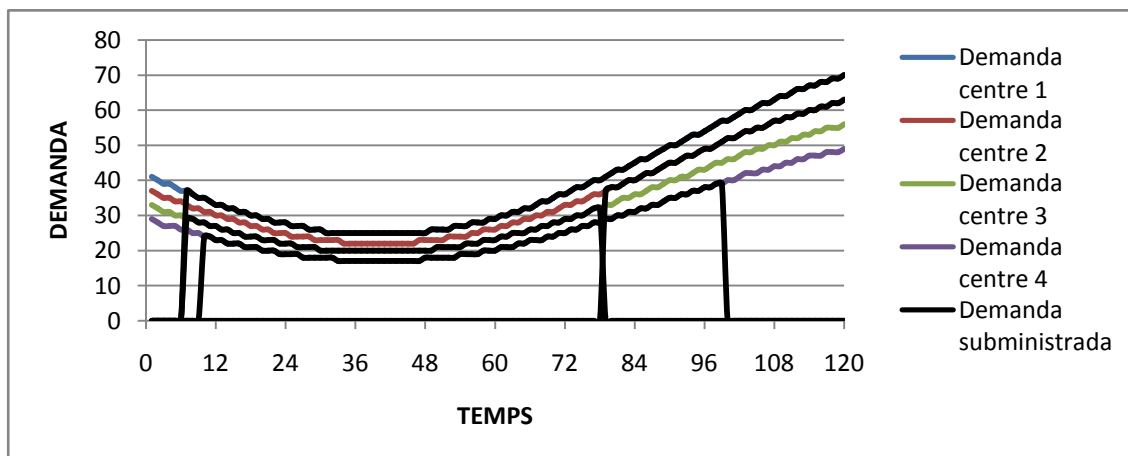
El cas estudiat, és un cas molt puntual, ja que la quantitat de sistemes que es poden recrear són molts, i si això s'afegeix que les possibilitats de variacions de valors que s'atorguen als paràmetres són infinites, obtenim un ventall d'escenaris il·limitat. No obstant cal comentar petites observacions al respecte del que es proposa. Sempre que es vulgui localitzar un centre de distribució, la distància mínima que ha de recórrer un transport que circuli directament de la fàbrica a l'àrea comercial serà com a màxim la que hi ha de la fàbrica al centre de distribució, més de centre a àrea comercial. Aquesta distància podria ser menor s'hi existeix una via que uneixi directament la fàbrica i l'àrea sense passar per la localització del centre de distribució. Generalment, però, l'ús que se li dona als centres de distribució no és tant la d'escurçar distàncies, sinó la de reorganitzar la mercaderia, i normalment els tipus de transport que circulen de fàbrica a centre de distribució no són de les mateixes característiques que els que circulen de centre a àrea. És per aquest motiu que seguint la metodologia de crear escenaris que comportin poques variables, s'ha considerat mantindre un sol tipus de transport, però penalitzar el recorregut de fàbrica a centre una mica per tal d'infringir en el fet que el traçat que es realitza del centre de distribució a l'àrea comercial no és de fàcil recorregut per al transport que prové de la fàbrica. Simplement es tracta d'una petita consideració que assimila l'escenari una mica més a la realitat, ja que amb sistemes

amb un tipus de transport i un tipus de producte es fa difícil la possibilitat de localitzar centres de distribució, i de poder mostrar el que es pretén en aquest estudi en concret.

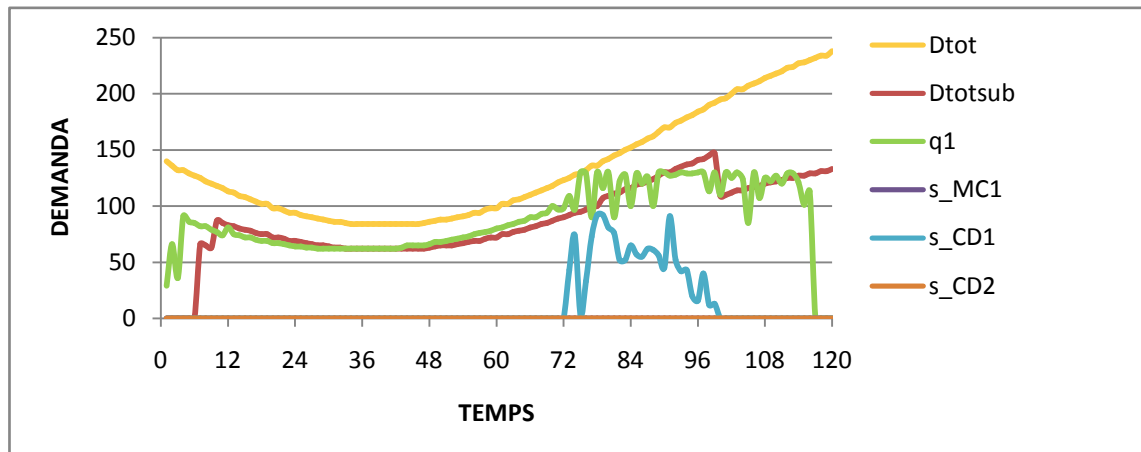
Anàlisi de resultats

Un cop plantejades totes les dades es procedeix a l'execució del model. En aquest estudi les variables importants a analitzar són les Z_WCD pertanyents a cada centre de distribució. En elles es veurà en quin dels centres s'ha invertit en capacitat d'emmagatzematge i, per tant, quin és o són els centres útils per al sistema. També s'analitzarà cap a on es dirigeix el material emmagatzemat per tal de saber per a quines zones s'utilitza el centre de distribució escollit (origen i destí de les rutes que es donen), i les quantitats emmagatzemades.

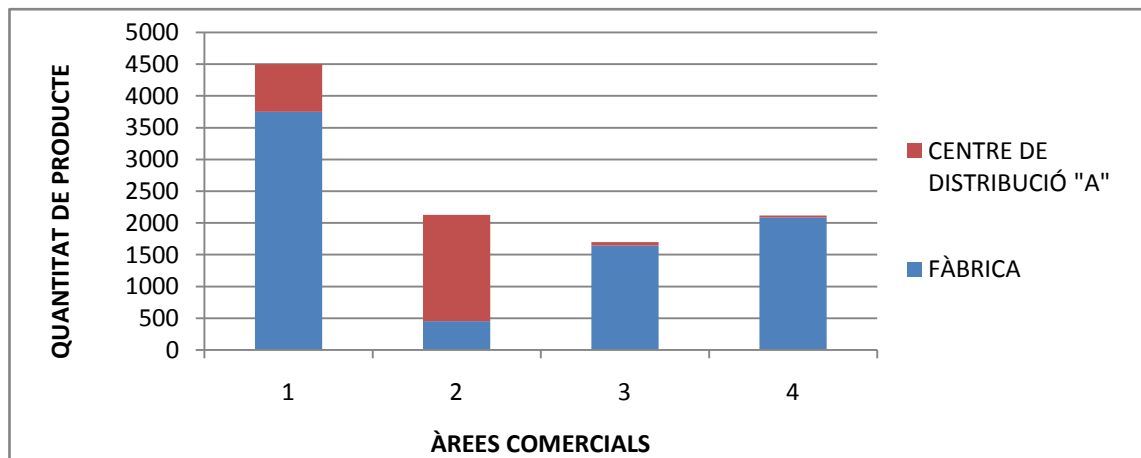
S'ha executat el model i s'ha obtingut una solució òptima per al sistema elaborat. Per tal de poder entendre els resultats obtinguts més visualment es mostrarà quina ha estat la solució pel que fa a mercats amb que es treballa, i les capacitats de producció i d'emmagatzematge que s'utilitzen. És important tindre en compte aquests resultats ja que, com s'ha comprovant als anteriors estudis realitzats, en funció de les àrees comercials que siguin abastides, un centre pot ser més adequat que un altre encara que, a priori, no tingués sentit. És per això que és important conèixer primer la demanda total que es subministrarà per després poder fer una valoració de la utilitat dels centres. Des de el Gràfic 7.12 fins al Gràfic 7.14 es mostren els diferents resultats obtinguts de l'estudi.



Gràfic 7.12. Demanda Subministrada per a la localització de un CD



Gràfic 7.13. Resultat d'executar el model per a la localització de un CD



Gràfic 7.14 Procedència del producte subministrat per a la localització de un CD

Mitjançant el Gràfic 7.13 es coneix quin és el centre de distribució que interessa. Es comprova clarament que l'únic que s'utilitza és el centre "A", i ni el magatzem central ni el centre de distribució "B" són utilitzats al llarg de tot el procés. El gràfic també indica quins són els períodes en que s'hauria de disposar del centre al llarg de l'horitzó. Pel que fa al Gràfic 7.14 compara la quantitat de producte que circula directament de la fàbrica a l'àrea comercial i la que passa pel centre de distribució "A".

Contra el que podria semblar, la localització del centre òptim és la "A". Això s'explica possiblement perquè és el més pròxim a les dues àrees amb més demanda, i on una d'elles és abastida al llarg de tot l'horitzó.

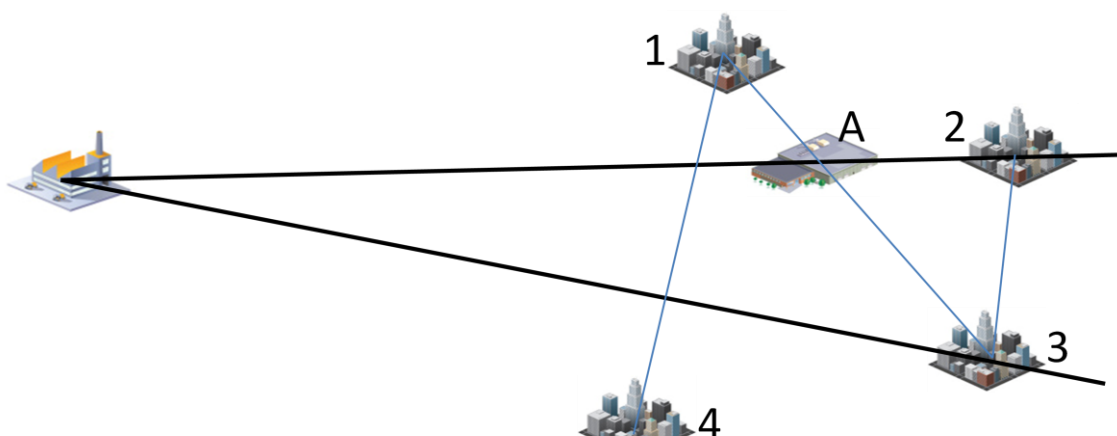


Figura 7.3. Resultat per a la localització de un CD. (Font: elaboració pròpia)

Aquest estudi no només mostra la capacitat del model de trobar respostes a la possibilitat de buscar noves localitzacions de centres de distribució. De fet, es podria dir que aquest exemple combina una mica dels tres apartats anteriors (7.1, 7.2 i 7.3), i això indica que el model està capacitat per resoldre problemes que combinen els diferents estudis realitzats.

7.5. Control de la flota (ocupació del transports)

Una dada molt interessant que es pot extreure treballant els resultats de cada escenari que s'executa al model és la del nivell d'ocupació de càrrega que tenen els transports quan aquets es mouen per la xarxa. Aquesta informació és molt útil per tal d'analitzar fins a quin punt s'aprofiten les capacitats de transport disponibles. Val a dir que aquesta dada sempre dependrà molt dels paràmetres que s'introdueixin en cada escenari (demanda, cost d'adquisició de l'actiu, capacitat disponible, etc...), ja que generalment quant més demanda es subministri i quant menys càrrega càpiga en el transport, més percentatge d'ocupació tindran els transports i al revés.

Aquest tipus d'informació permet que es valorin altres tipus de conceptes com podria ser el medi ambiental. Habitualment es prima més l'economia que el medi ambient i en aquest sentit a les empreses els és igual si per realitzar una activitat contaminen menys o més, encara que sigui amb el mateix cost, ja que el que importa és el que val. Aquesta filosofia poc a poc, per sort, està canviant i això implica que els nous models que s'elaboren han de predicar amb l'exemple.

Es evident que l'objectiu que es busca sempre en aquest projecte serà de caràcter econòmic, però es valorós saber que al mateix temps el model intenta, en la mesura del possible, esgotar al màxim la capacitat que tenen els transports. El fet que s'aprofiti al màxim

la capacitat dels transports implica que el nivells de contaminació també s'optimitzin, que és el que es busca complir de retruc.

Per fortuna, la capacitat del transport va associada a un cost que el model intenta minimitzar i això provoca que els transports sempre vagin plens. En ocasions degut al tipus de demanda no és possible que els transports vagin al complet i d'aquí la realització d'aquest estudi per valorar fins a quin punt van de plens. A la següent taula es representa l'ocupació que han tingut els vehicles als diferents escenaris que s'han executat als apartats anteriors:

| | Ocupació transports anada | Ocupació transports anada + tornada |
|--|------------------------------|--|
| 7.1 Patró de demanda "A" | 89.93% | 49.67% |
| 7.1 Patró de demanda "B" | 84.06% | 44.19% |
| 7.1 Patró de demanda "C" | 90.30% | 49.02% |
| 7.2 Expansió i reducció de capacitats | 89.65% | 47.94% |
| 7.3 Anàlisi de mercats | 81.58% | 41.89% |
| 7.4 Localització de CD | 79.12% | 40.52% |

Taula 7.5. Ocupació dels transports als diversos escenaris provats

La diferència entre una columna i l'altra és que a la primera sols es comptabilitzen els transports quan circulen amb càrrega, mentre que en la segona es comptabilitzen tots els moviments de transport. Vistos els resultats, es dona per demostrada l'eficàcia del model en aquest aspecte.

7.6. Observacions i conclusions

La principal conclusió que s'obté de tot el seguit de proves realitzades és que el model ha complit els objectiu esperats. Amb la resolució dels exercicis realitzats es dona per demostrat el correcte funcionament del model, però podria ser útil la realització d'un experiment computacional per acabar de completar aquest test de prova.

Tots els resultats obtinguts de cada un dels escenaris descrits al projecte estan explicats a l'annex "C".

Com a principals observacions de l'execució dels escenaris es destaca els problemes obtinguts a l'hora de manipular el OPL. No ha estat tant el coneixement de com funciona el programa, sinó que al voler tractar moltes variables com a nombre enter el programa presentava una manca de memòria, fet que provocava haver de retocar toleràncies per poder obtenir resultats. Tots els escenaris creats també han estat executats tractant totes

les variables com a nombres reals però, això distorsionava els resultats que s'obtenien i produïa que no es poguessin mostrar amb clarividència el que es desitjava, per això s'ha preferit executar els escenaris buscant que els resultats que calguessin fossin enters.

També és interessant comentar que el model ofereix diferents vessants d'estudi més enllà de l'habitual vessant econòmica. Des d'un principi, s'ha comentat que el model optimitza el balanç a final d'horitzó, però aquest balanç no ha de ser obligatòriament econòmic. El model també es podria plantejar en altres termes d'estudi no menys interessants. Per fer-ho, simplement s'hauria d'adaptar els costos al nou concepte que es vulgui maximitzar, però el model romandria intacte.

8. Impacte ambiental

En aquest apartat s'inclouen els possibles impactes ambientals tant en la fase prèvia de l'execució del projecte com en la posterior.

8.1. Impacte ambiental del l'execució del projecte.

En aquest cas en concret, el impacte ambiental realitzat en la primera fase del projecte és merament l'ús de paper que s'ha fet servir per redactar el model. De fet, només es va redactar en paper inicialment, ja que amb poc temps es va utilitzar suports informàtics.

En la part de implantació i provatura del model, l'únic impacte que es pot afegir és l'energètic degut a la gran quantitat d'hores que ha estat necessari tindre el PC funcionant. La majoria d'aquestes hores eren degut a execucions del model mitjançant el OPL en que es realitzen un seguit de iteracions que mantenen el PC prou saturat durant llargues estones de temps.

8.2. Impacte ambiental del model.

Pel que fa a l'impacte ambiental que es deriva de l'utilització del model no, es podria dir que és nul, ja que bàsicament seria la utilització de un suport informàtic capaç d'executar el model en algun escenari en concret. Segons la dimensió d'escenari que s'executi aquest consum pot ésser major o menor.

Més interessant que l'impacte que l'utilització del model pugui fer, és l'impacte que pot tindre els resultats que ofereix el model. Dels resultats obtinguts se'n deriven possibles decisions que, per al tema que es tracta, pot suposar importants canvis en la forma de funcionar d'una empresa.

El model és un suport per a la presa de decisions, que mitjançant la programació matemàtica ofereix respostes de molt valor. Una de les principals característiques que ofereix el model és la planificació de capacitats, i això comporta que els resultats que es poden extreure sempre siguin d'una dimensió important. És difícil analitzar l'impacte que pot produir l'aplicació dels resultats que ofereix el model, ja que depèn molt de l'escenari que s'estudiï. A més, el model actua com a simple suport a la presa de decisions, on la responsabilitat d'aplicar el resultat o no recau sobre qui prengui la decisió final.

No obstant, la forma amb que optimitza el model permet avaluar de forma general el cert impacte ambiental que pugui provocar. En el cas de la planificació de producció i de capacitat de emmagatzemar, el model s'intenta adaptar a la demanda existent, de forma que el rendiment d'aquells actius sempre sigui alt. El fet que un actiu no s'utilitzi generalment ve

condicionat per una qüestió de costos, ja que el model sempre actua buscant una optimització econòmica. El que es pot dir, doncs, és que tant els costos com la demanda són els causant de que la productivitat treballi a màxim rendiment o no, amb el que això suposa d'impacte al medi ambient.

Per un altra banda es troba el control que s'ha realitzat a la flota de transports. Com s'ha comprovat al punt 7.5 es busca sempre provocar que l'ocupació dels transports sigui màxima, i que els moviments entre centres siguin estrictament els necessaris. Per tant, en aquest aspecte, sí que es pot dir que el model actua en el benefici del medi ambient. És cert que el producte s'ha de distribuir i el moviment de transports es inevitable, però si aquesta distribució és controla millor.

En resum es difícil conèixer el que pugui provocar les aplicacions a la realitat de les decisions que s'obtenen de l'execució del model. Sempre dependrà de l'escenari o de si es volen aplicar els resultats obtinguts, però es creu que en conjunt la contribució que fa el model per estalviar econòmicament pot beneficiar al medi ambient (no sempre ha de ser així). El problema és que el fet de que s'utilitzin maquinàries eficients i netes per al medi ambient en el escenari que s'estudiï, que és el que realment suposaria un gran avenç, queda fora de l'àmbit del projecte. D'aquí la dificultat de valoració.

Conclusions

Al llarg d'aquest projecte s'ha proposat un model de programació lineal entera per a la planificació de les capacitats a la cadena de proveïment en un sistema amb un sol lloc de fabricació, i amb les opcions d'optimitzar la localització d'un centre de distribució i d'optimitzar en quins mercats invertir. Es tracta d'un model determinista amb temps discret i horitzó finit. En ell s'han tingut en compte els aspectes més rellevants del sistema que forma la cadena de subministrament (producció, emmagatzematge i distribució de producte), així com aspectes de negocis per tal d'optimitzar el flux de caixa. El model ofereix detalladament el pla de producció, d'emmagatzematge, de transport, el flux de producte a realitzar; adquisició i vendes d'actius en el temps, localització dels centres i les zones on s'ha de subministrar el producte. Per altra banda el model té present costos fixos i variables de cada procés, així com els pagaments i cobraments amb possibles retards.

S'ha resolt el model amb CPLEX, on s'han executat diversos escenaris que podien aportar informació sobre el funcionament i les aplicacions del model. Tots ells han estat resolts satisfactòriament amb resultats lògics i demostrant les possibilitats del model.

Com a valoració més personal, es creu que amb la realització d'aquest modelat, s'ha contribuït, si cap, una mica més en els models d'optimització de sistemes i es creu que ofereix grans possibilitats en aquest camp.

Finalment, es conclou que els objectius marcats a l'inici han estat completats satisfactòriament. Comentar, però, que el model encara és ampliable en molts aspectes i es proposa continuar investigant en noves rutes per continuar millorant-lo. Alguns exemples serien:

- L'adaptació d'aquest model a d'altres amb la introducció del contingut financer i fiscal que calgués.
- Gestió del personal per separat, contractacions i acomiadaments i associar-ho a les capacitats disponibles.
- Introducció de fluxos de càrrega i descàrrega de producte ajuntant més tipus de capacitat als magatzems o les zones comercials.
- Utilitzar un model estocàstic basat en escenaris.

Estudi econòmic

Per conèixer el pressupost del projecte es realitza un breu estudi econòmic on es puntualitza cada un dels costos que s'atribueixen al mateix.

Partides

a) Cost de personal:

Es refereix als costos de personal degut a hores d'estudi invertides en:

- Recerca bibliogràfica de documentació sobre el temari.
- Creació del model per escrit a partir dels conceptes mostrats pel tutor.
- Formació sobre utilització del software ECLIPSE.
- Formació sobre utilització del software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.
- Execució i anàlisi de resultats.
- Redacció del projecte.

Per a la realització de totes aquestes tasques s'ha dedicat 5 hores diàries durant 24 setmanes.

b) Cost de software:

L'amortització del programa *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio* comporta uns costos d'amortització de la llicència i del manteniment del programa. En el cas del *Eclipse* al tractar-se de un programa de descàrrega gratuïta per Internet no comporta cost.

c) Cost de hardware:

Cost atribuït a l'utilització de material electrònic (en aquest cas s'ha utilitzat un PC Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU @2,26GHz i memòria RAM 4,00 GB). Es calcula com un 30% del preu de cost del suport degut al alta utilització que se l'hi ha donat en l'elaboració del projecte.

d) Cost de material fungible:

Cost de llum i de material de oficina utilitzats.

Pressupost:

| | |
|--|----------------|
| Cost de Personal | |
| Enginyer Industrial i en Organització Industrial | |
| 24 setmanes * 5 dies/setmana * 5 hores/dia * 30€/h | 18.000€ |
| Cost de software | |
| Amortització de la llicència | 1.000€ |
| Amortització del programa | 1.000€ |
| Cost de Hardware | |
| 30% del cost del suport electrònic | 300€ |
| Cost de material fungible | |
| Llum i material d'oficina | 300€ |
| SUBTOTAL | 20.600€ |
| IVA 21% | 4.326€ |
| TOTAL | 24.926€ |

Taula de pressupost.

En conseqüència s'atribueix al projecte un preu total de 24.926 €.

Agraïments

Voldria mostrar especial agraïment al tutor del projecte Ernest Benedito, per presentar-me l'idea d'estudi, per la seva ajuda al llarg de la realització del projecte i per la seva orientació fins obtenir el resultat desitjats després de moltes reunions.

També m'agradaria agrair a l'empresa CAN DONAT per donar-me les facilitats necessàries per poder alternar la feina amb el desenvolupament del projecte, així com per prestar-me un espai on poder treballar en ell.

No voldria oblidar-me del recolzament ofert per la parella i la família, que sempre han estat al meu costat recolzant-me, inclús en els moments més difícils. Sense ells no hagués estat possible i tot el que es pugui dir en aquestes línies no seria suficient.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Baita, F., W. Ukovich, R. Pesento, R y D. Favaretto, Dynamic routing and inventory problems: a review. *Transportation research. Part a.* 32 (8), 585-598 (1998).
- [2] Barbósa-Próvoa, M.I. Gomes y A.Q Novais [2005] *Design and Planning of Suplí Chains with Reverse Flows*. European Symposium on Computer Aided Process Engineering-15.
- [3] Berman, O., Ganz, Z., & Wagner, J. M. (1994). *A Stochastic Optimization Model for Planning capacity Expansion in a Service Industry under Uncertain Demand*. *Naval Research Logistics*, 41(4), 545-564.
- [4] Bose, S., & Pekny, J. F. (2000). *A model predictive framework for planning and scheduling problems: A case study of customer goodssupply chain*. *Computer and Chemical Engineering*, 24, 329.
- [5] Campbell, J.F. (1994). *Integer programming formulations of discrete hub location problems*. *European Journal of Operational Research* 72, 387-405.
- [6] Chakravarty, A.K., 1999. *Profit margin, process improvement and capacity decisions in global manufacturing*. *International Journal of Production Research* 37 (18), 4235-4257.
- [7] Current, J.D.M.S.D., 2002. *Facility Location: Applications and Theory Discrete network location models models*. In: Drezner, Z., Hamacher, H. (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, p.81–118.
- [8] Fahimniaa, B., Zanjirani Farahanib, R., Marianc, R., Luongd, L. (2013) *A review and critique on integrated production–distribution planning models*. *Journal of Manufacturing Systems* 32 (2013) 1–19
- [9] Ferrer, L., Coves, A.M., Santos, M.A. de los. *An Optimization Model of Distribution Transport using Integer Linear Programming*. Univ. Politècnica de Catalunya, Dpto. de

Ingeniería Mecánica, Inst. de Organización y Control, Diagonal N°647, 08028 Barcelona-España

- [10] Gaimon, C., Burgess, R.H., 2003. *Analysis of the lead time and learning for capacity expansion*. Production and Operations Management 12 (1), 128-140.
- [11] Goldman, A.J. (1969). *Optimal location for centers in a network*. Transportation Science 3, 352-360.
- [12] Hal, Z., R. Batta y R. Szczerba, Supply-Chain optimisation – Players, tools and issues. OR Insight. 14, (2), 20-30 (2001).
- [13] Hsu, V. N., 2002. *Dynamic capacity expansion problem with deferred expansion and age-dependent shortage cost*. Manufacturing & Service Operations Management 4 (1), 44-54.
- [14] Jayaraman, V. y H. Pirkul, Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. European Journal of Operational Research. 133, 394-408 (2001).
- [15] Laporte, G. *The vehicle routing problem: an overview*. European Journal of Operational Research, 59, 345-358 (1992).
- [16] Li, S., Tirupati, D., 1994. *Dynamic capacity expansion problem with multiple products: Technology selection and timing of capacity expansion*. Operations Research 42 (5), 958-976.
- [17] Luss, H. (1982). *Operations research and capacity expansion problems: A survey*. Operations Research, 30(5), 907-947.
- [18] Melo, M.T., Nickel, S., da Gama, F.S., 2003. *Large-scale models for dynamic multicommodity capacitated facility location*. Fraunhofer Institut Techno- und Wirtschaftsmathematik. 58.
- [19] Miller, T. L., Park, C. S., 2002. *Decision making under uncertainty- Real options to the rescue?* The Engineering Economist 47, 105-150.
- [20] O'Kelly, M.E. (1986). *The location of interacting hub facilities*. Transportation Science 20 (2), 92-105.

- [21] O'Kelly, M.E. (1987). *A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities*. European Journal of Operational Research 32, 393-404.
- [22] Olhager, J., Rudberg, M., & Wikner, J. (2001). *Long-term capacity management: Linking the perspective from manufacturing strategy and sales and operations planning*. International Journal of Production Economics, 69(2), 215-225.
- [23] Rajagopalan, S., 1998. *Capacity expansion and equipment replacement: A unified approach*. Operations Research 46 (6), 846-857.
- [24] Rajagopalan, S., Swaminathan, J.M., 2001. *A coordinated production planning model with capacity expansion and inventory management*. Management Science 47 (11), 1562-1580.
- [25] Reeves, G.R., Lawrence, K.D., Lawrence, S.M., Gonzalez, J.J., (1988). *A Multiple Criteria Approach to Aggregate Industrial Capacity Expansion*. Computers and Operations Research 15 (4), 333-339.
- [26] Ryan, S.M., 2004. *Capacity expansion for random exponential demand growth with lead times*. Management Science 50 (6), 740-748.
- [27] Shimizu, Y., T. Wada y J.K. Yoo [2005] *Entire Supply Chain Optimization in Terms of Hybrid in Approach*, European Symposium on Computer Aided Process Engineering-15.
- [28] Shimizu, Y., y T. Wada [2004] *Hybrid Tabu Search Approach for Hierarchical Logistics Optimizations* Trans. ISCIE, 17, 6, 241.
- [29] Syam, S.S., 2000. *Multiperiod Capacity Expansion in Globally Dispersed Regions*. Decision Sciences 31 (1), 173-195.
- [30] Wheelwright, S.C., 1978. *Reflecting Corporate Strategy in Manufacturing Decisions*. Business Horizons 21 (February), 57-66.

Bibliografia complementària

Bibliografia consultada però que no ha estat citada al llarg del projecte:

- [31] Julka, N., Baines, T., Tjahjono, B., Lendermann, P., Vitanov, V., *A review of multi-factor capacity expansion models for manufacturing plants: Search for a holistic decision process*. Introduction journal of Production economies, Volume 106 Issue 2, pages 607-621.
- [32] Ahmed, S., King, A. J., & Parija, G. (2003). *A Multi-Stage Stochastic Integer Programming Approach for capacity expansion under Uncertainty*. Journal of Global Optimization, 26(1), 3-24.
- [33] Benedito, E. Single-site strategic capacity planning considering renewal, maintenance, inventory, taxes and cash-flow management, Barcelona ETSEIB.
- [34] Rajagopalan, S., Singh, M. R., & Morton, T. E. (1998). *Capacity Expansion and Replacement in Growing Markets with Uncertain Technological Breakthroughs*. Management Science, 44(1), 12-30.
- [35] Van Mieghem, J. A. (2003). *Capacity management, investment and hedging: Review and recent developments*. Manufacturing & Service Operations Management, 5(4), 269-302.
- [36] Wang, K.J., & Lin, S. H. (2002). *Capacity expansion and allocation for a semiconductor testing facility under constrained budget*. Production Planning & Control, 13(5), 429-437.
- [37] Zhang, F., Roundy, R., Çakanyildirim, M., & Huh W. T. (2004) *Optimal capacity expansion for multi-product, multi-machine manufacturing systems with stochastic demand*. IIE Transactions, 36(1), 23-36.

Pàgines web utilitzades:

- [38] UPC

<http://www.etsib.upc.edu/es>

<http://upcommons.upc.edu/>

- [39] IBM ILOG CPLEX Optimizer,

<http://www-01.ibm.com/software/commerce/optimization/cplex-optimizer/>

ftp://public.dhe.ibm.com/software/websphere/ilog/docs/optimization/cplex/ps_usrmancplex.pdf

[40] ECLIPSE,

<http://help.eclipse.org/indigo/index.jsp>

[41] Wikipedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/CPLEX>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Eclipse_\(software\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Eclipse_(software))